

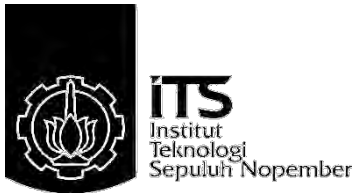
TUGAS AKHIR - TE141599

*ECONOMIC DISPATCH* UNTUK SISTEM KELISTRIKAN *MICROGRID*  
DENGAN *ENERGY STORAGE* BERBASIS *ADAPTIVE PARTICLE*  
*SWARM OPTIMIZATION*

Nugroho Wicaksono  
NRP 2212 100 199

Dosen Pembimbing  
Heri Suryoatmojo, ST., MT., Ph.D.  
Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, ST., MT.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016



FINAL PROJECT - TE141599

ECONOMIC DISPATCH FOR MICROGRID ELECTRICAL SYSTEM  
WITH ENERGY STORAGE BASED ON ADAPTIVE PARTICLE  
SWARM OPTIMIZATION

Nugroho Wicaksono  
NRP 2212 100 199

Advisor  
Heri Suryoatmojo, ST., MT., Ph.D.  
Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, ST., MT.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING  
Faculty of Industrial Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016

***ECONOMIC DISPATCH UNTUK SISTEM  
KELISTRIKAN MICROGRID DENGAN ENERGY  
STORAGE BERBASIS ADAPTIVE PARTICLE SWARM  
OPTIMIZATION***

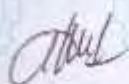
**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada**

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga  
Jurusan Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Menyetujui :**

**Dosen Pembimbing I**



**Heri Survoatmojo, ST., MT., Ph.D.**  
**NIP. 198006032006041003**

**Dosen Pembimbing II**



**Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, ST., MT.**  
**NIP. 197411292000121001**



# ***ECONOMIC DISPATCH UNTUK SISTEM KELISTRIKAN MICROGRID DENGAN ENERGY STORAGE BERBASIS ADAPTIVE PARTICLE SWARM OPTIMIZATION***

Nugroho Wicaksono

2212 100 199

Pembimbing I : Heri Suryoatmojo, ST., MT., Ph.D.

Pembimbing II : Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, ST., MT.

## **Abstrak:**

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi membawa pengaruh akan meningkatnya kebutuhan akan daya listrik, namun ketersediaan sumber energi konvensional (*fossil*) semakin menipis yang tentunya akan berdampak pada tingkat ketahanan listrik. Oleh karenanya diperlukan pembangkit-pembangkit tersebar berskala kecil (*microgrid*). Pembangkit tersebar ini diupayakan bersumber pada energi terbarukan dengan meminimalkan pemakaian dari sumber energi konvensional serta digunakan *energy storage* untuk *power balance*. Oleh karena adanya *microgrid* ini maka penting untuk menentukan besarnya pembangkitan daya listrik yang optimal dari masing-masing pembangkit dan kapasitas optimal *energy storage* sehingga kebutuhan daya listrik dapat dipenuhi dengan biaya yang optimal. Pada penelitian ini dilakukan analisis mengenai *economic dispatch* di dalam pengoperasian sistem kelistrikan *microgrid* dengan *energy storage*. Algoritma APSO digunakan untuk memecahkan masalah minimalisasi total biaya sistem. Simulasi komputer menggunakan Matlab dilakukan untuk menunjukkan efektivitas dari metodologi yang diusulkan dan dampak dari harga dan sistem penyimpanan pada *economic dispatch*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa penggunaan metode APSO untuk ED pada sistem kelistrikan *microgrid* memiliki performa kecepatan konvergensi yang lebih baik dibanding metode PSO dan dengan pemanfaatan *energy storage* pada sistem memberikan dampak penghematan biaya operasi.

**Kata Kunci :** *Economic Dispatch (ED), Microgrid, Artificial Intelligence, Adaptive Particle Swarm Optimization, Energy Storage.*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **ECONOMIC DISPATCH FOR MICROGRID ELECTRICAL SYSTEM WITH ENERGY STORAGE BASED ON ADAPTIVE PARTICLE SWARM OPTIMIZATION**

Nugroho Wicaksono  
2212 100 199

Supervisor I : Heri Suryoatmojo, ST., MT., Ph.D.  
Supervisor II : Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, ST., MT.

## ***Abstract***

*The development of science and technology also make the increasing need for electrical power, but the availability of conventional energy sources (fossil) depleting, which would certainly have an impact on the level of electrical resistance. Therefore distributed generation system (microgrid) is required. This distributed generation is strived from renewable energy sources to minimize the use of conventional energy sources and also used energy storage for power balance. With more distributed generation applied to the system, it is important to determine the optimal electrical power generation from each distributed generation and optimal energy storage capacity, so that electrical power needs can be met with an optimal cost. In this research, an analysis of the economic dispatch within microgrid operation of the electrical system with energy storage is done. APSO algorithm is used to solve the problem of minimizing the total cost of the system. Computer simulations using Matlab done to show the effectiveness of the proposed methodology and the impact of price and storage system in economic dispatch. The simulation results showed that the use of APSO methods for ED in microgrid electrical system performs better convergence speed compared PSO methods and the use of energy storage systems provide operating cost savings impact.*

**Keywords :** *Economic Dispatch (ED), Microgrid, Artificial Intelligence, Adaptive Particle Swarm Optimization, Energy Storage.*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# DAFTAR ISI

Halaman

<b>HALAMAN JUDUL</b>	
<b>PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR</b>	
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b>	
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xi</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Permasalahan.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Metodologi.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
1.7 Relevansi.....	5
<b>BAB 2 <i>ECONOMIC DISPATCH</i> UNTUK SISTEM KELISTRIKAN <i>MICROGRID</i> DENGAN <i>ENERGY STORAGE</i>.....</b>	<b>7</b>
2.1 Sistem Kelistrikan <i>Microgrid</i> .....	7
2.1.1 <i>Islanded</i> .....	7
2.1.2 <i>Grid – Connected</i> .....	8
2.1.3 Sel Surya.....	9
2.1.4 Turbin Angin.....	10
2.1.5 Baterai ( <i>Energy Storage</i> ) .....	11
2.1.6 Sel Bahan Bakar ( <i>Fuel Cell</i> ) .....	13
2.1.7 Turbin Mikro.....	14
2.1.8 Generator Diesel.....	15
2.2 <i>Economic Dispatch</i> .....	16
<b>BAB 3 PENERAPAN <i>ADAPTIVE PARTICLE SWARM</i> <i>OPTIMIZATION</i> UNTUK <i>ECONOMIC DISPATCH</i> PADA SISTEM KELISTRIKAN <i>MICROGRID</i>.....</b>	<b>21</b>
3.1 <i>Particle Swarm Optimization</i> (PSO) .....	21
3.1.1 Pengertian PSO.....	21
3.1.2 <i>Adaptive Particle Swarm Optimization</i> (APSO) .....	22
3.1.3 Pembatas Pergerakan Partikel .....	24
3.1.4 Prosedur Standar Algoritma Particle Swarm Optimization.....	24



3.1.5 Simulasi Algoritma APSO untuk Menyelesaikan ED Sistem Kelistrikan <i>Microgrid</i> .....	25
3.2 Implementasi dari Algoritma.....	28
<b>BAB 4 SIMULASI DAN ANALIS.....</b>	<b>31</b>
4.1 Data Spesifikasi CPU.....	31
4.2 Validasi Program APSO dengan Menggunakan Referensi Buku Allen J Wood.....	31
4.4 Studi Kasus 2.....	34
4.5 Studi Kasus 3.....	40
4.6 Studi Kasus 4.....	44
4.7 Studi Kasus 5 47	
<b>BAB 5 PENUTUP.....</b>	<b>53</b>
5.1 Kesimpulan.....	53
5.2 Saran.....	53
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>55</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>57</b>
<b>RIWAYAT HIDUP.....</b>	<b>83</b>

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
<b>Gambar 2. 1</b> Sistem Kelistrikan <i>Islanded Microgrid</i> .....	7
<b>Gambar 2. 2</b> Sistem Kelistrikan <i>Grid-Connected Microgrid</i> .....	8
<b>Gambar 2. 3</b> Sistem Kelistrikan <i>Microgrid</i> .....	9
<b>Gambar 2.4</b> Kurva Karakteristik Turbin Angin ReDriven 20 kW.....	10
<b>Gambar 2. 5</b> Kurva Fungsi Biaya Baterai.....	12
<b>Gambar 2. 6</b> Kurva Fungsi Biaya Sel Bahan Bakar.....	14
<b>Gambar 2. 7</b> Kurva Fungsi Biaya Turbin Mikro.....	15
<b>Gambar 2. 8</b> Kurva Fungsi Biaya Generator Diesel.....	16
<b>Gambar 2. 9</b> Grafik Fungsi Biaya Pembangkit Keseluruhan.....	18
<b>Gambar 3. 1</b> Diagram Alir APSO.....	28
<b>Gambar 3.2</b> Diagram Alir Algoritma <i>Economic Dispatch Islanded Microgrid</i> .....	30
<b>Gambar 4. 1</b> Grafik Konvergensi Studi Kasus 2 Pada Beban 125 kW....	37
<b>Gambar 4. 2</b> Grafik Konvergensi Studi Kasus 2 Pada Beban 138 kW....	38
<b>Gambar 4. 3</b> Grafik Konvergensi Studi Kasus 2 Pada Beban 148 kW....	39
<b>Gambar 4. 4</b> Grafik Konvergensi Studi Kasus 2 Pada Beban 158 kW....	40
<b>Gambar 4. 5</b> Grafik Konvergensi APSO saat Beban 125 kW (Percobaan ke -5).....	50
<b>Gambar 4. 6</b> Grafik Konvergensi APSO saat Beban 125 kW (Percobaan ke-5).....	51

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR TABEL

	Halaman
<b>Tabel 2. 1</b> Data Koefisien Harga Pembangkit.....	17
<b>Tabel 4. 1</b> Profil Pembangkit.....	31
<b>Tabel 4. 2</b> Data Masukan Studi Kasus 1.....	33
<b>Tabel 4. 3</b> Hasil Simulasi Studi Kasus 1.....	33
<b>Tabel 4. 4</b> Data Masukan Studi Kasus 2.....	35
<b>Tabel 4. 5</b> Hasil Simulasi Daya Terbangkitkan Studi Kasus 2.....	35
<b>Tabel 4. 6</b> Hasil Simulasi Biaya Operasi Studi Kasus 2.....	36
<b>Tabel 4. 7</b> Data Masukan Studi Kasus 3.....	41
<b>Tabel 4. 8</b> Hasil Simulasi Daya Terbangkitkan Studi Kasus 3.....	41
<b>Tabel 4. 9</b> Hasil Simulasi Biaya Operasi Studi Kasus 3.....	42
<b>Tabel 4. 10</b> Perbandingan Biaya Operasi Beban 77 kW.....	42
<b>Tabel 4. 11</b> Perbandingan Biaya Operasi Beban 125 kW.....	43
<b>Tabel 4. 12</b> Perbandingan Biaya Operasi Beban 138 kW.....	43
<b>Tabel 4. 13</b> Perbandingan Biaya Operasi Beban 148 kW.....	44
<b>Tabel 4. 14</b> Perbandingan Biaya Operasi Beban 158 kW.....	44
<b>Tabel 4. 15</b> Data Masukan Studi Kasus 4.....	45
<b>Tabel 4. 16</b> Hasil Simulasi Daya Terbangkitkan dan Waktu yang Dibutuhkan Studi Kasus 4 APSO.....	45
<b>Tabel 4. 17</b> Hasil Simulasi Biaya Operasi Studi Kasus 4 APSO.....	46
<b>Tabel 4. 18</b> Hasil Simulasi Daya Terbangkitkan dan Waktu yang Dibutuhkan Studi Kasus 4 <i>Quadratic Programming</i> .....	46
Tabel 4. 19 Hasil Simulasi Biaya Operasi Studi Kasus 4 <i>Quadratic Programming</i> .....	46
<b>Tabel 4. 20</b> Hasil Simulasi PSO.....	48
<b>Tabel 4. 21</b> Hasil Simulasi APSO.....	49

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Tenaga listrik dapat dikatakan telah menjadi kebutuhan primer bagi kehidupan manusia saat ini. Seiring dengan pertumbuhan ekonomi dan infrastruktur, permintaan terhadap daya listrik terus bertambah [1]. Kemajuan ilmu pengetahuan dan perkembangan teknologi juga memberikan kontribusi yang besar dalam peningkatan kebutuhan tenaga listrik. Namun peningkatan kebutuhan tenaga listrik ini tidak dapat secara langsung diatasi dengan menambah pasokan daya dari pembangkit tanpa memperhatikan biaya dan kemampuan dari masing-masing pembangkit yang digunakan.

Perubahan terhadap *Electric Power System* (EPS) pun telah mengalami perubahan yang signifikan baik dalam struktur operasional dan organisasi. Perubahan ini dikombinasikan dengan kecenderungan untuk produksi yang efisien dan memberikan dampak lingkungan yang semakin baik, mengarahkan kita untuk mencari sumber energi alternatif baru untuk pembangkit listrik. Sehingga pembangkit dengan sumber energi baru-terbarukan dan yang memiliki nilai ekonomis yang tinggi menjadi faktor penentu perkembangan industri saat ini.

Salah satu efek dengan adanya perubahan terhadap EPS adalah adanya pembangkit tersebar (*distributed generation*). Hal ini menciptakan konsep baru terkait dengan peningkatan penggunaan sumber energi baru-terbarukan, memperkenalkan ide *microgrid* [2]. *Microgrid* didefinisikan sebagai bagian dari sistem distribusi dan struktur dasarnya terdiri dari sumber energi yang terdistribusi, perangkat penyimpanan dan beban yang berubah-ubah. Sistem ini dapat dioperasikan dengan terhubung ke jala-jala atau dengan metode terisolasi (*island-ing mode*) [3]. Konsep *microgrid* ini dapat dilihat sebagai bagian dari *smart grid* jika menambahkan *smart meter*, akuisisi data dan sistem komunikasi antara komponen dasar [2].

Dengan adanya konsep *microgrid* dan usaha peningkatan nilai ekonomis dalam pemenuhan kebutuhan beban sistem ini, maka dibutuhkan suatu konsep *economic dispatch*. *Economic Dispatch* (ED) merupakan instrumen yang sangat penting dalam kontrol dan operasi sistem tenaga [4]. *Economic Dispatch* (ED) mempunyai fungsi utama untuk mengatur pembagian beban ke setiap pembangkit untuk dapat

memenuhi kebutuhan beban dengan biaya pembangkitan yang paling optimal [5]. Beberapa pembangkit energi listrik yang dimodelkan pada penelitian ini adalah pembangkit sel surya, turbin angin, sel bahan bakar (*fuel cell*), turbin mikro dan generator diesel serta juga media penyimpanan energi (*energy storage*). Pembangkit sel surya dan turbin angin merupakan pembangkit dengan sumber energi baru-terbarukan sehingga kebutuhan akan bahan bakar hanya diperlukan untuk pengoperasian pembangkit sel bahan bakar (*fuel cell*), turbin mikro dan generator diesel [6]. Untuk memenuhi permintaan beban, energi listrik dapat dihasilkan secara langsung oleh keenam sumber energi tersebut. Masing-masing pembangkit dan sumber energi dalam sistem *microgrid* dimodelkan secara terpisah sesuai dengan karakteristik dan batasannya.

Berbagai metode untuk memecahkan masalah *Economic Dispatch* (ED) telah menjadi topik penelitian sejak lama. Metode efisien berdasarkan tiga langkah untuk *economic dispatch microgrids* yang optimal, mempertimbangkan kendala *unit commitment* menjadi fungsi objektif merupakan salah satu penelitian yang telah dilakukan [7]. Selain itu algoritma berbasis iterasi untuk memecahkan *economic dispatch microgrid* tanpa mempertimbangkan *losses* dan kemudian dibandingkan dengan metode CPLEX juga telah dilakukan [8]. Namun dalam penelitian tersebut belum dipertimbangkan adanya sumber energi baru-terbarukan dan media penyimpanan energi. Dalam penelitian ini diusulkan solusi untuk *Economic Dispatch* (ED) dalam sistem kelistrikan *microgrid* dengan sumber energi baru-terbarukan, pembangkit berbahan bakar dan media penyimpanan energi (baterai) dengan menggunakan kecerdasan buatan (*artificial intelligence*). *Artificial intelligence* yang digunakan sebagai metode dalam penelitian ini adalah *Adaptive Particle Swarm Optimization* (APSO).

## 1.2 Permasalahan

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dikemukakan di atas, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana memodelkan pembangkit *renewable energy* dan *cost function* dari pembangkit berbahan bakar pada sistem kelistrikan *microgrid*?
2. Bagaimana metode *adaptive particle swarm optimization* dapat diterapkan dalam permasalahan *economic dispatch*?
3. Bagaimana menentukan pembebanan yang optimal pada setiap unit pembangkit dan kapasitas *charge-discharge energy storage*

yang optimal sehingga kebutuhan beban dapat terpenuhi dengan biaya yang paling minimum?

### 1.3 Batasan Masalah

Untuk mendapatkan hasil penelitian yang terarah dan tidak menyimpang, maka masalah yang dibahas dalam penelitian ini dibatasi oleh beberapa hal sebagai berikut:

1. Ketersediaan bahan bakar tidak terbatas.
2. Rugi-rugi pada jaringan diabaikan.
3. Sistem dalam keadaan stabil.
4. Keandalan sistem pembangkitan dan transmisi dianggap seratus persen.
5. Perhitungan *unit commitment* tidak disertakan.
6. Model sistem *microgrid* yang digunakan berdasarkan referensi dari buku dan jurnal.
7. Simulasi dilakukan dengan menggunakan *software* matlab.
8. Kurs mata uang yang digunakan adalah per 24 April 2016.

### 1.4 Tujuan

Penelitian ini ditujukan untuk:

1. Mendapatkan pemodelan pembangkit *renewable energy* dan *cost function* dari pembangkit berbahan bakar pada sistem kelistrikan *microgrid*.
2. Dapat menerapkan metode *adaptive particle swarm optimization* dalam permasalahan *economic dispatch*.
3. Mendapatkan pembebanan yang optimal pada setiap unit pembangkit dan kapasitas *charge-discharge* baterai yang optimal sehingga kebutuhan beban dapat terpenuhi dengan biaya yang paling minimal.

### 1.5 Metodologi

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Studi literatur

Studi literatur yang digunakan dalam pengerjaan penelitian ini adalah mengumpulkan buku-buku dan referensi-referensi mengenai *economic dispatch*, sistem kelistrikan *microgrid*, penggunaan baterai (*energy storage*) dan *Adaptive Particle Swarm Optimization* (APSO). Fungsi dari studi literatur ini



adalah sebagai alat bantu dalam penelitian ini serta mendukung analisis-*analisis* dalam penelitian ini secara teoritis.

2. Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan dapat diperoleh dari *data sheet* ataupun dari penelitian-penelitian sebelumnya meliputi:

1. Data parameter pembangkit.
2. *Record* beban.
3. Fungsi biaya tiap pembangkit pada sistem *microgrid*.
4. Kurs mata uang.

3. Pemodelan Sistem

Melakukan pemodelan terhadap sistem *microgrid* sehingga dapat diketahui fungsi biaya dari masing-masing pembangkit.

4. Simulasi dan Analisis

Data yang telah direkam kemudian diolah dengan menggunakan *software* MATLAB. Pengolahan data dalam pengerjaan penelitian ini bertujuan untuk memahami bagaimana karakteristik algoritma *adaptive particle swarm optimization* dalam optimisasi. Data-data yang diolah pada *software* adalah:

1. Biaya pembangkitan tiap pembangkit pada sistem kelistrikan *microgrid*.
2. Daya pembangkitan tiap pembangkit pada sistem kelistrikan *microgrid*.
3. Kapasitas baterai pada sistem kelistrikan *microgrid*.

Dari data diatas dapat diperoleh biaya total sistem.

5. Penyusunan Laporan

Setelah mendapatkan data yang sudah diolah dan sudah melewati semua tahapan yang ada, maka dilakukan penyusunan buku. Penulisan buku merupakan hasil dari kesimpulan penelitian ini. Kesimpulan tersebut merupakan jawaban dari permasalahan yang dianalisis yakni *economic dispatch microgrid* dengan *energy storage* yang sesuai dengan jumlah beban sistem yang diminta.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Laporan penelitian ini disusun dengan sistematika sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN.

Penjelasan tentang latar belakang masalah, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian dan kontribusi penelitian.

BAB 2	<i>ECONOMIC DISPATCH</i> UNTUK SISTEM KELISTRIKAN <i>MICROGRID</i> DENGAN <i>ENERGY STORAGE</i> Penjelasan mengenai <i>economic dispatch</i> dan sistem kelistrikan <i>microgrid</i> , <i>adaptive particle swarm optimization</i> .
BAB 3	PENERAPAN <i>ADAPTIVE PARTICLE SWARM OPTIMIZATION</i> UNTUK <i>ECONOMIC DISPATCH</i> PADA SISTEM KELISTRIKAN <i>MICROGRID</i> . Penjelasan mengenai penerapan <i>adaptive particle swarm optimization</i> untuk permasalahan <i>economic dispatch</i> pada sistem kelistrikan <i>microgrid</i> .
BAB 4	SIMULASI DAN ANALISIS. Menganalisis hasil optimasi permasalahan <i>economic dispatch</i> pada sistem kelistrikan <i>microgrid</i> dengan metode APSO.
BAB 5	PENUTUP. Berisi kesimpulan dan saran.

## 1.7 Relevansi

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini diharapkan dapat memberi manfaat sebagai berikut:

1. Dapat menjadi acuan untuk menentukan daya listrik yang dibangkitkan oleh pembangkit-pembangkit tersebar dengan biaya yang paling optimal.
2. Dapat menjadi referensi bagi mahasiswa lain yang hendak mengambil masalah yang serupa untuk penelitian.
3. Dapat menjadi referensi penelitian untuk mengembangkan metode optimasi yang lebih handal.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB 2

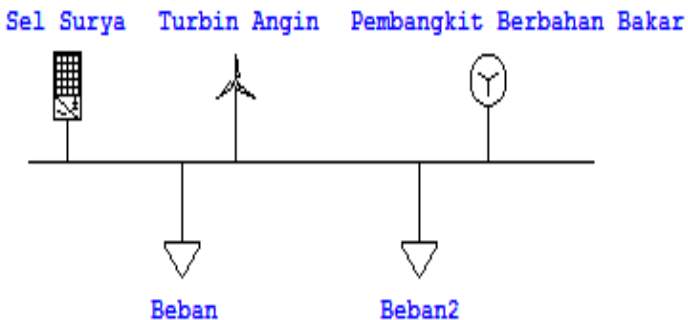
### ***ECONOMIC DISPATCH UNTUK SISTEM KELISTRIKAN MICROGRID DENGAN ENERGY STORAGE***

#### **2.1 Sistem Kelistrikan *Microgrid***

Beberapa pembangkit digunakan dalam sistem kelistrikan *microgrid* diantaranya pembangkit berbahan bakar seperti pembangkit sel bahan bakar, pembangkit turbin mikro, pembangkit generator diesel serta pembangkit dengan sumber energi baru-terbarukan seperti pembangkit sel surya, pembangkit turbin angin dan juga media penyimpanan energi. Dengan menggunakan pembangkit tersebar berskala kecil, daya listrik dibangkitkan dekat dengan beban untuk meningkatkan keandalan dan mengurangi rugi-rugi jaringan. Terdapat dua mode operasi dalam sistem kelistrikan *microgrid* yaitu *islanded* dan *grid-connected*.

##### **2.1.1 *Islanded***

*Islanded* adalah mode operasi dimana sistem kelistrikan tidak terhubung dengan jala-jala (*main grid* PLN) seperti yang ada pada gambar 2.1. Pembangkit yang ada beroperasi secara mandiri dalam memenuhi kebutuhan sistem, sehingga pembangkit dalam sistem harus mampu menopang seluruh beban yang ada dalam sistem dan mengharuskan generator bekerja secara *continuous* dan stabil. Mode operasi ini menekankan pada stabilitas sistem terutama frekuensi dan tegangan.

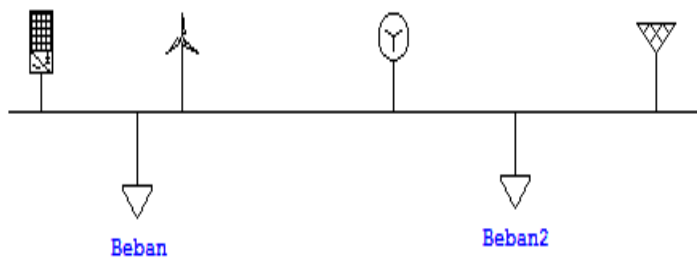


**Gambar 2. 1** Sistem Kelistrikan *Islanded Microgrid*

### 2.12. Grid – Connected

Berbeda dengan mode operasi *islanded*, mode operasi *grid-connected* merupakan mode operasi dimana sistem terhubung dengan jala-jala (*main grid* PLN) seperti yang ada pada gambar 2.2. Pembangkit yang ada beroperasi bersama dengan PLN dalam memenuhi kebutuhan sistem. Mode operasi ini menekankan pada minimisasi harga impor daya dari PCC (*Point of Common Coupling*), meningkatkan *power factor* di PCC dan optimasi profil tegangan sistem.

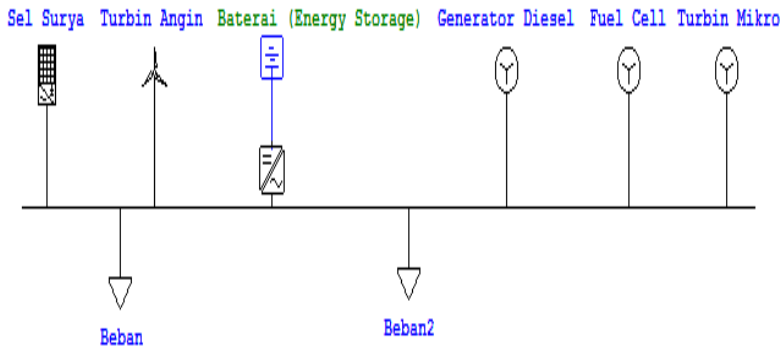
Sel Surya Turbin Angin Pembangkit Berbahan Bakar Grid (Jala-Jala)



**Gambar 2. 2** Sistem Kelistrikan *Grid-Connected Microgrid*

Pada penelitian ini, tipe mode operasi sistem kelistrikan *microgrid* yang digunakan adalah *islanded*. Dengan tipe operasi ini pembangkit yang ada beroperasi secara mandiri untuk memenuhi kebutuhan sistem yang ada. Beberapa sumber energi listrik yang dimodelkan dalam sistem *microgrid* ini yakni sel surya, turbin angin, sel bahan bakar (*fuel cell*), turbin mikro dan generator diesel. Pemodelan sistem kelistrikan *microgrid* ini mendekati kondisi nyata sistem kelistrikan di pulau-pulau terpencil dimana tidak mendapatkan suplai daya dari jala-jala PLN.

Sistem kelistrikan *microgrid* yang digunakan dalam penelitian ini seperti yang ditampilkan pada gambar 2.3 dimana kebutuhan daya sistem disuplai oleh pembangkit energi baru-terbarukan yakni pembangkit sel surya dengan kapasitas *rating* 25 kW, pembangkit turbin angin dengan kapasitas *rating* 20 kW dan pembangkit berbahan bakar (konvensional *thermal*) yakni pembangkit sel bahan bakar 25 kW, turbin mikro 75 kW, generator diesel 50 kW dan baterai dengan kapasitas maksimal *charge-discharge* 30 kW.



**Gambar 2. 3** Sistem Kelistrikan *Microgrid*

### 2.1.3 Sel Surya

Pembangkit sel surya merupakan instrumen yang memanfaatkan cahaya matahari untuk menghasilkan energi listrik. Karakteristik dari sel surya saat dioperasikan dapat berbeda dengan kondisi saat standar tes (radiasi matahari  $1000 \text{ W/m}^2$ , suhu sel  $25^\circ\text{C}$ ). Maka pengaruh kondisi radiasi dan suhu aktual pada karakteristik sel surya dimodelkan. Pengaruh intensitas matahari dimodelkan dengan mempertimbangkan *ouput* daya dari modul sel surya yang akan sebanding dengan radiasi matahari aktualnya. Daya keluaran dari modul sel surya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$P_{pv} = M(P_{stc} \frac{G_{act}}{G_{stc}} (1 + k(T_c - T_r))) \quad (2.1)$$

Keterangan:

$P_{pv}$  = Daya keluaran dari modul sel surya saat radiasi  $G_{act}$  (W).

$P_{stc}$  = Daya modul sel surya saat *Standard Test Condition* (STC) (W).

$G_{act}$  = Radiasi aktual ( $\text{W/m}^2$ ).

$G_{stc}$  = Radiasi saat *Standard Test Condition* (STC) ( $1000 \text{ W/m}^2$ ).

$M$  = Jumlah modul sel surya.

$k$  = Koefisien suhu untuk daya modul (%/C).

$T_c$  = Suhu sel ( $^\circ\text{C}$ ).

$T_r$  = Suhu referensi ( $25^\circ\text{C}$ ).

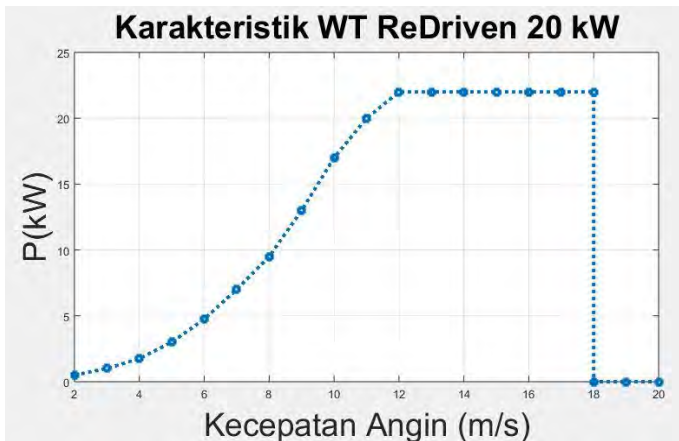
Modul sel surya yang digunakan pada penelitian ini adalah SOLAREX MSX-83 sebanyak 302 modul, dimana modul sel surya ini memiliki karakteristik [6]:

Daya maksimum saat STC ( $P_{stc}$ )	= 83
Tegangan saat daya maksimum	= 17.1 V
Arus saat daya maksimum	= 4.85 A
Arus <i>short circuit</i> saat STC	= 5.27 A
Tegangan <i>open circuit</i> saat STC	= 21.2 V
Koefisien suhu untuk daya ( $k$ )	= -0.5

#### 2.1.4 Turbin Angin

Pembangkit turbin angin merupakan instrumen yang mengubah tenaga angin menjadi energi listrik. Terdapat 2 hal penting yang perlu diperhitungkan ketika mendesain turbin angin yaitu ketersediaan angin dan kurva karakteristik daya yang dimiliki oleh turbin angin tersebut. Keluaran daya listrik dari turbin angin merupakan fungsi dari kecepatan angin. Untuk memodelkan performansi dari turbin angin diperlukan kurva karakteristik daya dari turbin angin tersebut.

Pada penelitian ini digunakan turbin angin ReDriven 20 kW sebanyak 2 *unit*. Kurva karakteristik daya dari turbin angin ini adalah sebagai berikut [15]:



**Gambar 2. 4** Kurva Karakteristik Turbin Angin ReDriven 20 kW

Berdasarkan model karakteristik kurva daya tersebut, maka dapat diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 P_{wt} &= 0, & V_{act} &< V_{ci} \\
 P_{wt} &= a.V_{act}^3 + b.V_{act}^2 + c.V_{act} + d & V_{ci} &\leq V_{act} \leq V_r \\
 P_{wt} &= 22, & V_r &< V_{act} < V_{co} \\
 P_{wt} &= 0 & V_{act} &> V_{co} \\
 P_{wt} &= P_{wt} \times J
 \end{aligned} \tag{2.2}$$

Berdasarkan hasil *plotting polyfit* dan *polyval* dari kurva karakteristik maka didapatkan parameter-parameter sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 a &= -0.0196. \\
 b &= 0.5874. \\
 c &= -2.6814. \\
 d &= 4.0076. \\
 P_{wt,r} &= 20 \text{ kW}. \\
 V_r &= 11 \text{ m/s}. \\
 V_{ci} &= 2 \text{ m/s}. \\
 V_{co} &= 18 \text{ m/s}.
 \end{aligned}$$

Keterangan:

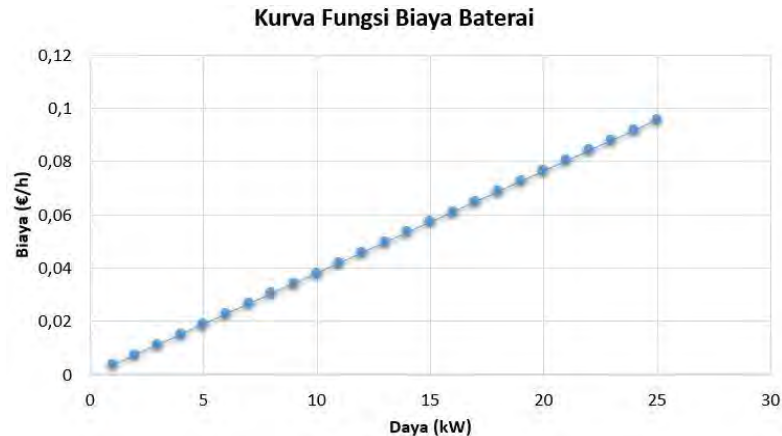
$$\begin{aligned}
 P_{wt} &= \text{Daya keluaran dari turbin angin (kW)}. \\
 P_{wt,r} &= \text{Rating daya WT (kW)}. \\
 J &= \text{Jumlah turbin angin yang terpasang (unit)}. \\
 V_{ci} &= \text{Kecepatan cut-in (m/s)}. \\
 V_{co} &= \text{Kecepatan cut-out(m/s)}. \\
 V_r &= \text{Rating kecepatan angin (m/s)}. \\
 V_{act} &= \text{Kecepatan angin aktual (m/s)}.
 \end{aligned}$$

### 2.1.5 Baterai (*Energy Storage*)

Pada penelitian ini digunakan baterai sebagai media penyimpanan energi untuk menjaga *power balance* di sistem kelistrikan *microgrid*. Baterai disini digunakan sebagai salah satu sumber penghasil daya pada sistem dan juga sebagai media penyimpanan daya apabila daya yang dihasilkan pembangkit energi baru-terbarukan melebihi kebutuhan daya sistem. Baterai yang digunakan memiliki koefisien biaya 0.0043\$/kWh [12]. Dengan menggunakan kurs dollar-euro per tanggal 24 April 2016 dimana 1\$ sama dengan 0.89098766 €, maka didapatkan koefisien biaya



baterai adalah 0.003831 €/kWh. Kapasitas maksimal yang dapat disimpan oleh baterai adalah 300 kWh dengan SOC minimum baterai 60 kWh. Baterai ini juga memiliki kapasitas maksimal daya yang dapat di *charge-discharge* sebesar 30 kW [12]. Adapun kurva fungsi biaya dari baterai ini adalah sebagai berikut:



**Gambar 2. 5** Kurva Fungsi Biaya Baterai

Baterai yang digunakan pada simulasi ini beroperasi pada kemampuan daya maksimal *charge-discharge*-nya yakni 30 kW tanpa mempertimbangkan berapa daya yang sudah tersimpan atau terpakai sebelumnya pada baterai.

Ketika kondisi beban *microgrid* lebih kecil dari total pembangkitan oleh pembangkit energi baru-terbarukan maka daya yang disimpan ke dalam baterai dapat dimodelkan sebagai berikut:

$$P_{\text{renew}} = P_{\text{pv}} + P_{\text{wt}} \quad (2.3)$$

$$P_{\text{batt}} = P_{\text{renew}} - \text{Beban} \quad (2.4)$$

Keterangan:

$P_{\text{pv}}$  = Daya terbangkitkan oleh pembangkit sel surya (kW).

$P_{\text{wt}}$  = Daya terbangkitkan oleh pembangkit turbin angin (kW).

$P_{\text{renew}}$  = Total daya terbangkitkan oleh pembangkit energi baru-terbarukan (kW).

Beban = Total kebutuhan daya sistem (kW).

P<sub>batt</sub> = Daya yang disimpan dalam baterai (kW).

Sedangkan ketika kondisi beban *microgrid* lebih besar dari total pembangkitan oleh pembangkit energi baru-terbarukan maka daya dari baterai akan digunakan untuk memenuhi kebutuhan beban sistem dan dapat dimodelkan sebagai berikut:

$$P_{\text{renew}} = P_{\text{pv}} + P_{\text{wt}} \quad (2.5)$$

$$P_{\text{batt}} = \text{Load} - P_{\text{renew}} \quad (2.6)$$

Keterangan:

P<sub>pv</sub> = Daya terbangkitkan oleh pembangkit sel surya (kW).

P<sub>wt</sub> = Daya terbangkitkan oleh pembangkit turbin angin (kW).

P<sub>renew</sub> = Total daya terbangkitkan oleh pembangkit energi baru-terbarukan (kW).

Beban = Total kebutuhan daya sistem (kW).

P<sub>batt</sub> = Daya yang digunakan dari baterai (kW).

### 2.1.6 Sel Bahan Bakar (*Fuel Cell*)

Sel bahan bakar merupakan salah satu instrumen pembangkit yang memiliki emisi yang rendah dan efisiensi yang tinggi. *Fuel cell* membangkitkan daya melalui reaksi elektrokimia antara hidrogen dan oksigen. Proses reaksi ini sangat efisien dan hanya meninggalkan air dan panas sebagai produk sisanya. Biaya operasi dari sel bahan bakar ini dapat dimodelkan dengan polinomial kuadrat. Biaya operasi untuk sel bahan bakar adalah sebagai berikut:

$$F(P_{fc}) = a + b \cdot P_{fc} + c \cdot P_{fc}^2 \quad (2.7)$$

Keterangan:

F(P<sub>fc</sub>) = Total biaya operasi sel bahan bakar (€/h).

a, b, c = Koefisien biaya sel bahan bakar.

P<sub>fc</sub> = Keluaran daya dari sel bahan bakar (kW).

Pada penelitian ini digunakan sel bahan bakar dengan daya *output* maksimal 25 kW dengan koefisien bahan bakar [13].

a = 12

b = 45

$$c = 0.01$$

Adapun kurva fungsi biaya dari sel bahan bakar ini adalah sebagai berikut:



**Gambar 2. 6** Kurva Fungsi Biaya Sel Bahan Bakar

### 2.1.7 Turbin Mikro

Turbin mikro merupakan instrumen yang merubah energi mekanik menjadi energi listrik, generator turbin gas kecepatan tinggi bertenaga mulai 25–500 kW. Frekuesinya berada pada rentang 1.4–4 kHz. Dengan menggunakan konverter, frekuensi ini dapat dirubah menjadi 50/60 Hz. Biaya operasi dari turbin mikro ini dapat dimodelkan dengan polinomial kuadrat. Biaya operasi untuk turbin mikro sebagai berikut:

$$F(Ptm) = a + b. Ptm + c. Ptm^2 \quad (2.8)$$

Keterangan:

$F(Ptm)$  = Total biaya operasi turbin mikro (€/h).

$a, b, c$  = Koefisien biaya turbin mikro.

$Ptm$  = Keluaran daya dari turbin mikro (kW).

Pada penelitian digunakan turbin mikro dengan daya *output* maksimal 75 kW dengan koefisien bahan bakar [13]:

- a = 12  
b = 48  
c = 0.01

Adapun kurva fungsi biaya dari turbin mikro ini adalah sebagai berikut:



**Gambar 2. 7** Kurva Fungsi Biaya Turbin Mikro

### 2.1.8 Generator Diesel

Generator diesel banyak digunakan di berbagai sektor ekonomi dengan skala yang luas mulai dari 1 kW hingga puluhan kW. Generator diesel banyak digunakan karena memiliki efisiensi dan keandalan yang tinggi. Biaya operasi dari generator diesel ini dapat dimodelkan dengan polinomial kuadrat. Biaya operasi untuk generator diesel sebagai berikut:

$$F(Pdg) = a + b \cdot Pdg + c \cdot Pdg^2 \quad (2.9)$$

Keterangan:

$F(Pdg)$  = Total biaya operasi generator diesel (€/h).

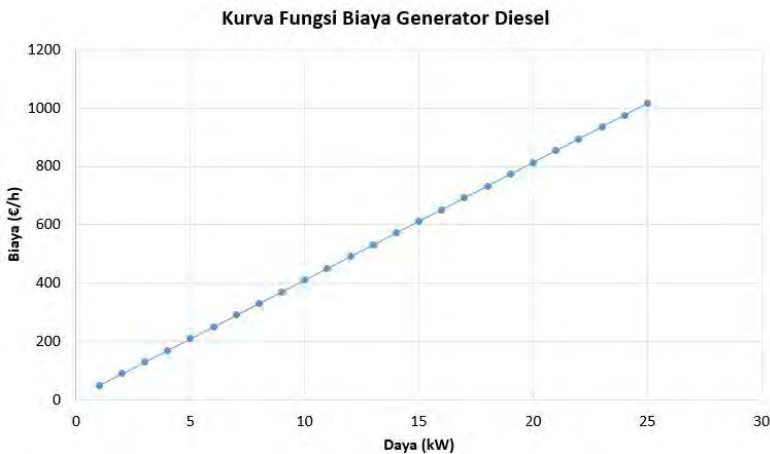
a, b, c = Koefisien biaya generator diesel.

$Pdg$  = Keluaran daya dari generator diesel (kW).

Pada penelitian ini digunakan generator diesel dengan daya *output* maksimal 50 kW dan memiliki koefisien bahan bakar [13]:

- a = 10
- b = 40
- c = 0.01

Adapun kurva fungsi biaya dari generator diesel ini sebagai berikut:



**Gambar 2. 8** Kurva Fungsi Biaya Generator Diesel

## 2.2 Economic Dispatch

*Economic dispatch* merupakan suatu teknik yang digunakan untuk membagi daya yang dibangkitkan oleh setiap pembangkit pada kondisi beban tertentu. Pembagian daya yang dibangkitkan oleh pembangkit bertujuan untuk mendapatkan biaya pembangkitan yang paling ekonomis. *Economic dispatch* tidak memperhatikan batas *ramp rate* sehingga tidak dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan beban dalam rentang waktu tertentu. Karakteristik tiap pembangkit berbeda-beda sehingga berpengaruh pada fungsi kebutuhan dan biaya bahan bakarnya. Perbedaan karakteristik itu dipengaruhi oleh jenis bahan bakar dan efisiensi dari pembangkit. Fungsi total biaya dari setiap generator *unit*-i dimodelkan dengan persamaan polinomial kuadrat yang dirumuskan sebagai berikut:

$$CF(P) = \sum_{n=1}^i C_i \times Fi(P_i) \quad (2.10)$$

$$Fi(P_i) = (a_i + b_i \cdot P_i + c_i \cdot P_i^2) \quad (2.11)$$

Keterangan:

$Fi$  = Biaya pembangkitan pada pembangkit *unit-i*.

$P_i$  = Daya output dari pembangkit *unit-i*.

$C_i$  = Biaya bahan bakar pada pembangkit *unit-i*.

$a_i, b_i, c_i$  = Koefisien biaya dari generator ke-*i*.

Sistem *microgrid* yang digunakan pada penelitian ini menggunakan dua jenis pembangkit energi baru-terbarukan dan tiga jenis pembangkit berbahan bakar serta satu jenis *energy storage*. Pembangkit berbahan bakar tersebut adalah sel bahan bakar (*fuel cell*), turbin mikro dan generator diesel, dimana tiap pembangkit berbahan bakar tersebut membutuhkan bahan bakar untuk beroperasi. Selain ketiga pembangkit berbahan bakar tersebut, baterai sebagai media penyimpanan energi juga memerlukan biaya dalam pengoperasiannya. Biaya operasi dari baterai ini didapatkan berdasarkan biaya saat investasi pembelian dan perawatan. Sehingga didapatkan fungsi biaya total operasi dari keseluruhan pembangkit tersebut adalah:

$$CF(P) = CF(P_{batt}) + CF(P_{FC}) + CF(P_{MT}) + CF(P_{DG}). \quad (2.12)$$

Keterangan:

$CF(P_{batt})$  = Total biaya operasi baterai (€/h).

$CF(P_{FC})$  = Total biaya operasi pembangkit sel bahan bakar (€/h).

$CF(P_{MT})$  = Total biaya operasi pembangkit turbin mikro (€/h).

$CF(P_{DG})$  = Total biaya operasi pembangkit generator diesel (€/h).

$CF(P)$  = Total biaya operasi keseluruhan pembangkit (€/h).

Berdasarkan penjelasan pada sub-bab sebelumnya, maka parameter fungsi biaya yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

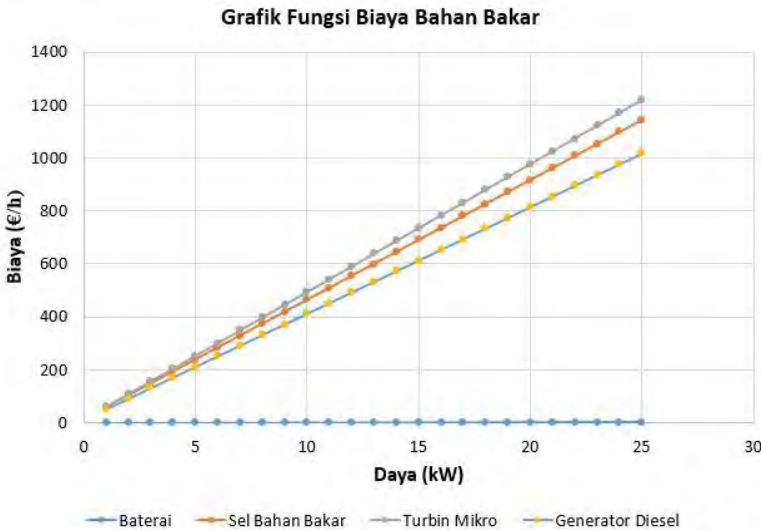
**Tabel 2. 1** Data Koefisien Harga Pembangkit

Koefisien	Sel Bahan Bakar	Turbin Mikro	Generator Diesel	Baterai
a	0.01	0.01	0.01	
b	45	48	40	0.003831

**Tabel 2. 1** Data Koefisien Harga Pembangkit lanjutan

Koefisien	Sel Bahan Bakar	Turbin Mikro	Generator Diesel	Baterai
c	12	12	10	

Berdasarkan data pada tabel 2.1 maka dapat diplot grafik untuk melihat bagaimana perbandingan biaya operasi dari keseluruhan pembangkit yang digunakan pada penelitian ini secara grafis. Adapun hasil dari plot grafik tersebut adalah:



**Gambar 2. 9** Grafik Fungsi Biaya Pembangkit Keseluruhan

### 2.2.1 Constraints

Terdapat beberapa *constraint* yang perlu dipertimbangkan dalam operasi *economic dispatch* yakni:

1. Keseimbangan daya (*equality constraint*).

$$\sum_{i=1}^n P_i = PL \quad (2.13)$$

Dimana PL adalah total beban sistem.

2. Kapasitas pembangkit (*inequality constraint*).

$$P_{imin} \leq P_i \leq P_{imax} \quad (2.14)$$

Dimana  $P_{imin}$  adalah daya minimum yang dapat dibangkitkan oleh pembangkit *unit-i* dan  $P_{imax}$  adalah daya maksimum yang dapat dibangkitkan dari pembangkit *unit-i*. Kedua *constraint* ini ada sebagai batasan dan syarat untuk sistem ini beroperasi.

**2.2.1.1 Equality Constraint**

*Equality constraint* merupakan batasan yang merepresentasikan keseimbangan daya dalam sistem. Karena terdapat dua jenis pembangkit energi baru-terbarukan dan satu *energy storage*, maka beban daya sistem yang akan dioptimasi oleh *economic dispatch* ini adalah total beban sistem dikurangi daya yang dihasilkan oleh pembangkit energi baru-terbarukan. Fungsi persamaannya dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$P_{opt} = \text{Beban} - P_{renew}. \quad (2.15)$$

Keterangan:

$P_{opt}$  = Daya yang dioptimasi oleh pembangkit berbahan bakar dan baterai.

Beban = Besarnya permintaan daya pada sistem.

$P_{renew}$  = Daya total yang dapat disuplai oleh pembangkit energi baru-terbarukan.

**2.2.1.2 Inequality Constraint**

*Inequality constraint* merupakan batasan yang merepresentasikan kapasitas daya dari pembangkit. Terdapat tiga jenis pembangkit berbahan bakar dalam sistem kelistrikan *microgrid* yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sel bahan bakar (*fuel cell*), turbin mikro dan generator diesel. Pembangkit berbahan bakar tersebut mempunyai kapasitas daya maksimum dan minimum yang berbeda-beda. Fungsi pertidaksamaannya adalah sebagai berikut:

$$PFC_{min} \leq PFC \leq PFC_{max} \quad (2.16)$$

$$PMT_{min} \leq PMT \leq PMT_{max} \quad (2.17)$$

$$PDG_{min} \leq PDG \leq PDG_{max} \quad (2.18)$$

$$P_{battchargemin} \leq P_{batt} \leq P_{battchargemax} \quad (2.19)$$



Keterangan:

$PFC_{\min}$	= Pembangkitan daya minimum dari pembangkit sel bahan bakar.
$PFC_{\max}$	= Pembangkitan daya maksimum dari pembangkit sel bahan bakar.
$PMT_{\min}$	= Pembangkitan daya minimum dari pembangkit turbin mikro.
$PMT_{\max}$	= Pembangkitan daya maksimum dari pembangkit turbin mikro.
$PDG_{\min}$	= Pembangkitan daya minimum dari pembangkit generator diesel.
$PDG_{\max}$	= Pembangkitan daya maksimum dari pembangkit generator diesel.
$P_{\text{battchargetmin}}$	= Pembangkitan daya maksimum dari baterai.
$P_{\text{battchargetmax}}$	= Pembangkitan daya minimum dari baterai.
$PFC_{\min}$	= 5 kW.
$PFC_{\max}$	= 75 kW.
$PMT_{\min}$	= 5 kW.
$PMT_{\max}$	= 25 kW.
$PDG_{\min}$	= 5 kW.
$PDG_{\max}$	= 50 kW.
$P_{\text{battchargetmin}}$	= 0 kW.
$P_{\text{battchargetmax}}$	= 30 kW.

# BAB 3

## PENERAPAN ADAPTIVE *PARTICLE SWARM OPTIMIZATION* UNTUK *ECONOMIC DISPATCH* PADA SISTEM KELISTRIKAN *MICROGRID*

### 3.1 *Particle Swarm Optimization (PSO)*

#### 3.1.1 Pengertian PSO

Algoritma *Particle Swarm Optimization (PSO)* merupakan salah satu algoritma dalam bidang kecerdasan buatan (*artificial intelligence*). PSO termasuk ke dalam kategori *swarm intelligence* yang merupakan algoritma yang terinspirasi oleh perilaku sosial kolektif koloni serangga atau koloni binatang.

*Particle Swarm Optimization (PSO)* merupakan algoritma optimasi berbasis kecerdasan buatan yang terinspirasi oleh kecerdasan koloni burung dan ikan. Pergerakan burung yang direpresentasikan sebagai pergerakan partikel ditentukan oleh nilai posisi sebelumnya dan nilai kecepatan saat ini. Nilai posisi dari partikel ini yang kemudian merepresentasikan solusi yang mungkin pada kasus optimasi, sedangkan nilai kecepatan digunakan untuk *update* posisi partikel.

Algoritma PSO ini pertama kali diperkenalkan oleh J. Kennedy [9] pada tahun 1995. Algoritma PSO dimulai dengan inisialisasi partikel solusi secara acak. Nilai dari fungsi objektif partikel-partikel tersebut akan mendeskripsikan kualitas dari posisi partikel atau sebagai alternatif solusi. Algoritma PSO akan beriterasi memperbaharui nilai posisi partikel sebagai fungsi dari perubahan kecepatan partikel sampai iterasi maksimal terpenuhi. *Output* dari hasil iterasi algoritma PSO ini didapatkan hasil nilai optimasi. Persamaan *update rule* yang digunakan oleh algoritma ini:

$$V_{it} = V_{it-1} + C_1 \cdot \text{rand.} \cdot (Pbest_{it} - X_{it-1}) + C_2 \cdot \text{rand.} \cdot (Gbest_{it} - X_{it-1}). \quad (3.1)$$

$$X_{it} = X_{it-1} + V_{it}. \quad (3.2)$$

Keterangan:

$V_{it}$  = Kecepatan partikel saat ini.

$V_{it-1}$  = Kecepatan partikel pada iterasi sebelumnya.

$X_{it}$  = Posisi partikel saat ini.

$X_{it-1}$  = Posisi partikel pada iterasi sebelumnya.

$Pbest_{it}$  = Posisi terbaik partikel.

$Gbest_{it}$  = Posisi terbaik dari seluruh partikel.  
 $C_1$  = Konstanta *cognitive*.  
 $C_2$  = Konstanta *social acceleration*.  
 $rand$  = Nilai *random* yang terdistribusi dari 0-1.

Pada tahun yang sama, R. Eberhart memperkenalkan algoritma lokal PSO. Prinsip dari teori lokal PSO adalah bahwa suatu partikel mengalami percepatan yang diakibatkan oleh partikel-partikel yang menjadi tetangga partikel yang bersangkutan, bukan diakibatkan oleh Gbest (posisi terbaik dari seluruh partikel). Sehingga persamaan *update rule* menjadi:

$$V_{it} = V_{it-1} + C_1 \cdot rand \cdot (Pbest_{it} - X_{it-1}) + C_2 \cdot rand \cdot (Lbest_{it} - X_{it-1}) \quad (3.3)$$

$$X_{it} = X_{it-1} + V_{it} \quad (3.4)$$

Keterangan:

$X_{it}$  = Posisi partikel saat ini.  
 $V_{it}$  = Kecepatan partikel saat ini.  
 $X_{it-1}$  = Posisi partikel iterasi sebelumnya.  
 $V_{it-1}$  = Kecepatan partikel iterasi sebelumnya.  
 $Pbest_{it}$  = Posisi terbaik dari partikel.  
 $Lbest_{it}$  = Posisi terbaik yang pernah dicapai oleh tetangga-tetangga dari suatu partikel.  
 $C_1$  = Konstanta *cognitive*.  
 $C_2$  = Konstanta *sosial acceleration*.  
 $rand$  = Nilai *random* yang terdistribusi dari 0-1.

Perbedaan metode PSO dari J. Kennedy dan R. Eberhart adalah dengan metode J. Kennedy akan menghasilkan nilai optimasi yang konvergen dalam waktu yang sangat cepat namun dengan hasil yang kurang baik karena menggunakan Gbest sebagai dasar acuan pencarian posisi terbaiknya sedangkan metode R. Eberhart akan menghasilkan konvergensi nilai optimasi yang lebih lambat namun dengan hasil performa yang lebih baik.

### 3.1.2 Adaptive Particle Swarm Optimization (APSO)

Salah satu metode *adaptive* PSO yang dapat digunakan untuk optimasi adalah mengubah nilai *inertia weight* PSO setiap iterasinya [10]. Variasi ini merupakan pengembangan dari metode yang telah

dikembangkan oleh J. Kennedy dan R. Eberhart. Dengan demikian *inertia weight* setiap iterasinya menjadi:

$$W_{it} = W_{max} - W_{min} * \frac{(it_{max}-it).it}{it_{max}} + W_{min} \quad (3.5)$$

Keterangan:

$W_{max}$  = Koefisien *inertia weight* maksimal.

$W_{min}$  = Koefisien *inertia weight* minimal.

$it$  = Iterasi yang sedang berlangsung.

$it_{max}$  = Nilai maksimal dari iterasi yang digunakan.

$W_{it}$  = *Inertia weight* pada iterasi saat ini.

Sehingga persamaan kecepatan partikel setiap iterasinya menjadi:

$$V_{it} = W_{it}.V_{it-1} + C_1.rand.(Pbest_{it} - X_{it-1}) + C_2.rand.(Gbest_{it}-X_{it-1}) \quad (3.6)$$

Keterangan:

$V_{it}$  = Kecepatan partikel saat ini.

$V_{it-1}$  = Kecepatan partikel iterasi sebelumnya.

$X_{it-1}$  = Posisi partikel iterasi sebelumnya.

$Pbest_{it}$  = Posisi terbaik dari partikel.

$Gbest_{it}$  = Posisi terbaik dari seluruh partikel.

$C_1$  = Konstanta *cognitive*.

$C_2$  = Konstanta *sosial acceleration*.

$rand$  = Nilai *random* yang terdistribusi dari 0-1.

Selain itu dengan besarnya nilai konstanta *cognitive* dan kecilnya nilai konstanta *sosial* di saat awal iterasi memungkinkan partikel untuk bergerak di sekitar ruang pencarian, sehingga tidak langsung bergerak menuju populasi terbaik secara prematur. Selama tahap optimasi selanjutnya semakin kecilnya nilai konstanta *cognitive* dan semakin besarnya nilai konstanta *sosial* memungkinkan partikel untuk menuju ke suatu titik global optimum [11]. Sehingga konstanta akselerasi berubah secara *adaptive* seiring dengan bertambahnya iterasi menjadi:

$$C_1 = (C_1^{final} - C_1^{initial}) \left( \frac{iter}{iter_{max}} \right) + C_1^{initial}, C_1^{final} < C_1^{initial} \quad (3.7)$$

$$C_2 = (C_2^{final} - C_2^{initial}) \left( \frac{iter}{iter_{max}} \right) + C_2^{initial}, C_2^{final} > C_2^{initial} \quad (3.8)$$

Keterangan:

- $C_1$  = Konstanta *cognitive*.  
 $C_2$  = Konstanta *sosial acceleration*.  
 $C_1^{final}$  = Konstanta *cognitive* akhir.  
 $C_1^{initial}$  = Konstanta *cognitive* awal.  
 $C_2^{final}$  = Konstanta *sosial acceleration* akhir.  
 $C_2^{initial}$  = Konstanta *sosial acceleration* awal.  
 $iter$  = Iterasi yang sedang berlangsung.  
 $iter_{max}$  = Nilai maksimal dari iterasi yang digunakan.

### 3.1.3 Pembatas Pergerakan Partikel

Dengan adanya keragaman posisi partikel ketika di-*update* setiap iterasinya maka diperlukan adanya pembatas pergerakan pada setiap partikel. Pembatas pergerakan partikel mempunyai fungsi sebagai pembatas agar posisi partikel tetap pada batasannya atau tetap pada jalurnya masing-masing. Seperti halnya pada pergerakan koloni burung atau ikan, setiap kali koloni tersebut bergerak ke sisi kiri atau kanan maka tidak akan ada anggota dalam koloni tersebut yang saling membentur sesama anggota yang lainnya dan selalu seragam. Pembatas pergerakan partikel tersebut dapat direpresentasikan sebagai berikut:

$$X_{min} \leq X_{it} \leq X_{max} \quad (3.9)$$

Keterangan:

- $X_{min}$  = Posisi minimum partikel.  
 $X_{max}$  = Posisi maksimum partikel.

Sehingga ketika diterapkan dalam optimasi *economic dispatch*, maka  $X_{min}$  merepresentasikan daya *output* minimum pembangkit dan  $X_{max}$  merepresentasikan daya *output* maksimum pembangkit.

### 3.1.4 Prosedur Standar Algoritma *Particle Swarm Optimization*

Prosedur standar untuk menerapkan algoritma PSO adalah sebagai berikut:

1. Inisiasi partikel dan kecepatan awal, jumlah iterasi dan parameter PSO.

2. Evaluasi fungsi *fitness* setiap partikel.
3. Inisiasi posisi *fitness* awal sebagai penentuan posisi partikel terbaik.
4. *Update* posisi partikel.
5. Batasi pergerakan partikel.
6. Bandingkan tiap calon Gbest dari nilai fungsi *fitness* agar mendapatkan nilai Gbest yang terbaik.
7. Lakukan sampai batas iterasi atau sampai mendapatkan Gbest dengan fungsi *fitness* yang paling optimum atau yang terbaik.

### 3.1.5 Simulasi Algoritma APSO untuk Menyelesaikan ED Sistem Kelistrikan *Microgrid*

Pada bagian ini metode *Adaptive Particle Swarm Optimization* (APSO) digunakan untuk mencari kombinasi dari parameter-parameter pembangkitan yang paling optimal dengan biaya yang paling minimal. APSO merupakan salah satu teknik yang memiliki banyak kesamaan dengan *Firefly Algorithm* (FA). APSO mampu menyelesaikan permasalahan *non-linear*, *non-differentiable* dan *multimodal objective function*. APSO terdiri dari jumlah partikel yang akan dioptimasi atau berapa kali partikel tersebut optimasi.

#### 3.1.5.1 Inisiasi Awal APSO

Pada proses inisiasi, posisi partikel pada APSO dibangkitkan secara acak diantara *range* batas atas dan batas bawah yang diijinkan. Posisi partikel ini merepresentasikan besarnya daya aktif yang dibangkitkan oleh setiap pembangkit serta batas atas dan batas bawah dari kasus *economic dispatch* ini adalah daya maksimum ( $P_{max}$ ) dan daya minimum ( $P_{min}$ ) yang dibangkitkan oleh setiap unit pembangkit dan daya maksimum-minimum *charge-discharge* dari baterai (*energy storage*) seperti yang digambarkan pada persamaan 3.10 berikut ini:

$$\begin{array}{lll}
 P_i & = P_i, & \text{Jika } P_{i_{min}} \leq P_i \leq P_{i_{max}} \\
 P_i & = P_{i_{min}}, & \text{Jika } P_i < P_{i_{min}} \\
 P_i & = P_{i_{max}}, & \text{Jika } P_i > P_{i_{max}}
 \end{array} \quad (3.10)$$

Keterangan:

$P_i$  = Daya yang dibangkitkan oleh pembangkit *unit-i*

$P_{i_{min}}$  = Batas daya minimum yang dapat dibangkitkan oleh pembangkit *unit-i*

$P_{i_{\max}}$  = Batas daya maksimum yang dapat dibangkitkan oleh pembangkit *unit*-i

Dengan demikian *inequality constraint* akan terpenuhi namun untuk *equality constraint* dapat belum terpenuhi karena dengan dibangkitkannya posisi partikel secara acak maka belum ada batasan posisi partikel tersebut akan bernilai total sama dengan beban. Oleh karenanya digunakan metode pengurangan atau penambahan nilai posisi partikel sehingga nilai pembangkitan akan disamakan dengan beban seperti pada persamaan berikut ini:

$$P_{\text{tot}} = \sum P_i \quad (3.11)$$

$$P_{\text{tot}} = \text{Beban} \quad (3.12)$$

Keterangan:

$P_i$  = Daya yang dibangkitkan oleh pembangkit *unit*-i

$P_{\text{tot}}$  = Daya total yang dibangkitkan oleh semua pembangkit.

Beban = Total kebutuhan beban sistem.

Dengan langkah ini maka *inequality constraint* dan *equality constraint* akan terpenuhi semua.

### 3.1.5.2 Perhitungan Biaya Pembangkitan

Perhitungan biaya pembangkitan didapat dengan memasukkan nilai posisi partikel yang telah dievaluasi secara *inequality* dan *equality constraint* ke dalam persamaan kuadrat polinomial dari fungsi biaya masing-masing pembangkit. Bandingan dengan nilai *fitness* awal yang telah didapatkan pada saat inisiasi awal posisi partikel. Apabila ada biaya pembangkitan yang lebih minimum daripada *fitness* awal maka dijadikan *fitness* partikel terbaik sementara hingga iterasi maksimal terpenuhi. Perhitungan biaya untuk setiap partikel dapat direpresentasikan sebagai berikut:

$$Fi(P_i) = \sum_{n=1}^i (a_i P_i + b_i P_i + c_i) \quad (3.13)$$

Keterangan:

$i$  = Pembangkit *unit* ke-i.

$a_i, b_i, c_i$  = Koefisien biaya dari pembangkit *unit* ke-i.

$P_i$  = Posisi partikel tiap pembangkit *unit* ke-i.

$n$  = Banyak jumlah pembangkit yang dioptimasi.

Total biaya yang paling optimum (minimal) akan dijadikan  $G_{best}$  untuk permasalahan *Economic Dispatch* (ED) menggunakan metode APSO.

### 3.1.5.3 Update Posisi Partikel

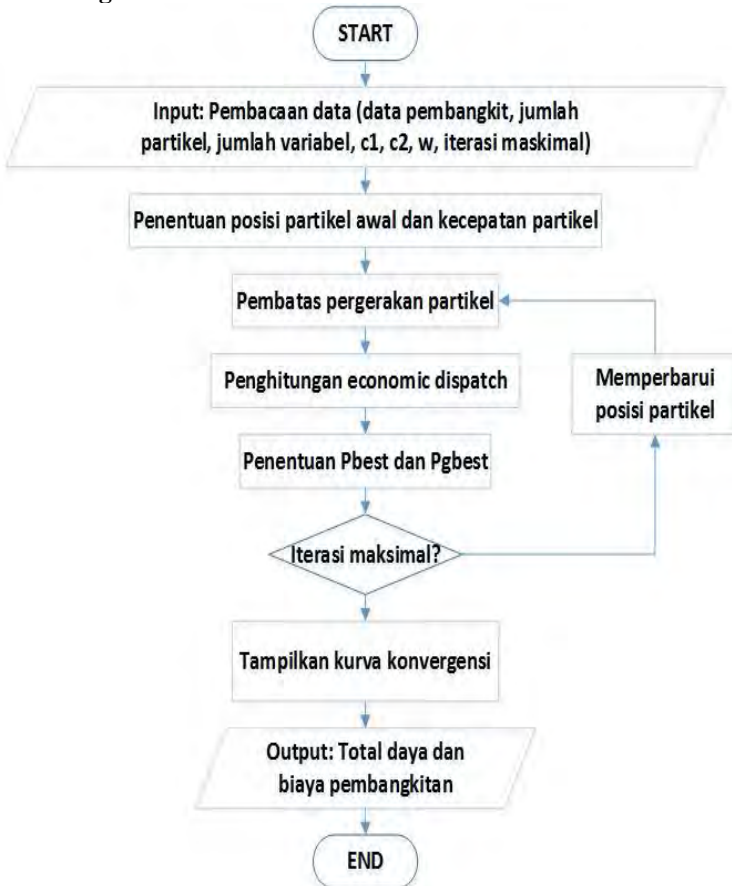
Setelah dilakukan proses perhitungan *Economic Dispatch* (ED) untuk iterasi pertama, maka posisi partikel akan di-*update* dengan kecepatan partikel yang didapatkan secara *random*. Tujuan dari *update* posisi partikel pada metode *Adaptive Particle Swarm Optimization* ini berfungsi untuk memberi gangguan pada partikel yang awalnya tadi tidak mungkin untuk dijadikan sebagai calon solusi menjadi mungkin untuk dijadikan sebagai calon solusi. Begitupun sebaliknya, bisa jadi calon solusi yang awalnya mungkin untuk dijadikan solusi dibuat menjadi tidak mungkin pada iterasi selanjutnya. Akan tetapi dengan dilakukan *update* maka posisi terbaik yang ingin dicapai akan menjadi terpenuhi dan kondisi konvergensi akan tercapai. Proses ini terus berulang sampai batasan iterasi maksimal terpenuhi.

### 3.1.5.4 Hasil Akhir

Hasil akhir berupa hasil perhitungan nilai pembagian daya optimal yang dibangkitkan oleh setiap unit pembangkit pada sistem kelistrikan *microgrid*, dimana dengan pembagian daya terbangkitkan untuk setiap pembangkit yang optimal tersebut dapat diperoleh biaya total operasi sistem yang paling optimal (minimum). Daya yang terbangkitkan tersebut harus dapat memenuhi *equality constraint* dan *inequality constraint* yakni daya yang terbangkitkan harus dapat memenuhi kebutuhan beban sistem dengan setiap daya yang terbangkitkan oleh setiap unit pembangkit harus berada pada rentang daya minimum sampai daya maksimum yang dapat dibangkitkannya. Berikut kurva konvergensi dari metode Adaptive Particle Swarm Optimization juga ditampilkan. Hasil ini merupakan solusi dari permasalahan *Economic Dispatch* (ED) pada sistem kelistrikan *microgrid* dengan *energy storage*.



#### 1.1.5.5 Diagram Alir APSO



**Gambar 3. 1** Diagram Alir APSO

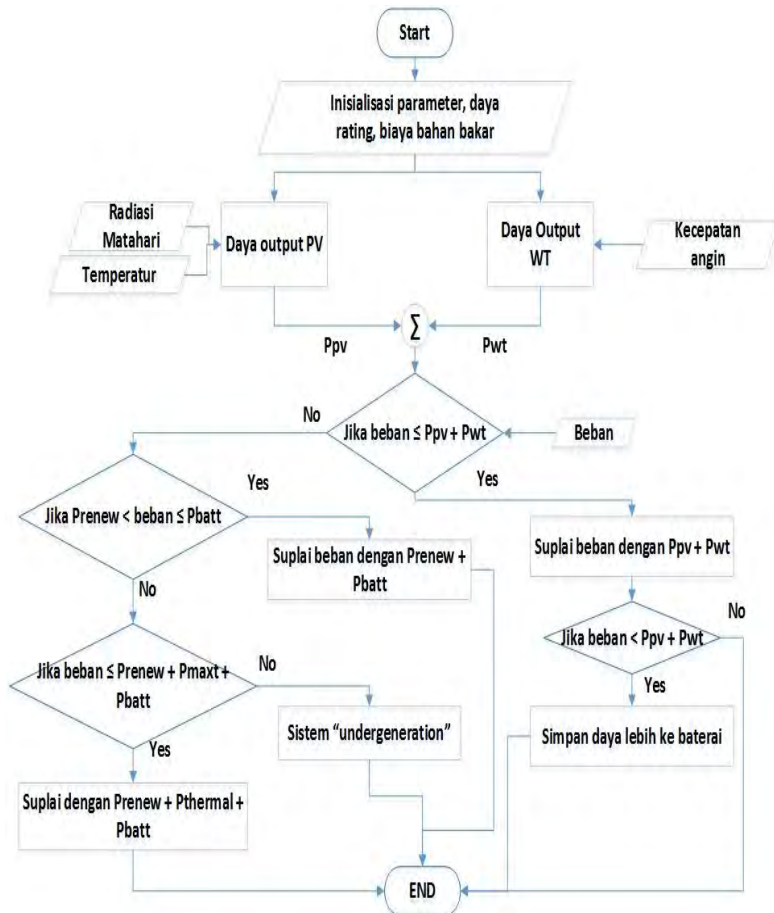
### 3.2 Implementasi dari Algoritma

Dalam penelitian ini, terdapat algoritma yang digunakan untuk mengoperasikan sistem kelistrikan *microgrid* model *islanded* secara optimal. Alur algoritma tersebut adalah sebagai berikut:

1. Inisiasi parameter, *rating* daya, biaya bahan bakar dari setiap pembangkit berbahan bakar.

2. Daya keluaran dari pembangkit sel surya dihitung sesuai dengan kondisi dari radiasi matahari dan temperatur suhu aktual.
3. Daya keluaran dari pembangkit turbin angin dihitung sesuai dengan kondisi dari kecepatan angin aktual.
4. Diasumsikan bahwa pembangkit sel surya dan pembangkit turbin angin tidak membutuhkan biaya saat beroperasi.
5. Jika total permintaan beban lebih kecil dari daya keluaran sel surya dan turbin angin maka kebutuhan beban hanya akan dipenuhi oleh pembangkit energi baru-terbarukan dan jika ada daya pembangkitan lebih dari pembangkit energi baru-terbarukan maka daya lebih tersebut akan disimpan di dalam baterai (*energy storage*).
6. Jika total permintaan beban lebih besar daya keluaran sel surya dan turbin angin namun masih dapat disuplai jika ditambah dengan daya dari baterai, maka permintaan beban akan disuplai oleh daya keluaran sel surya, turbin angin dan ditambah dengan daya dari baterai.
7. Beban *netto* untuk dioptimasi menggunakan *economic dispatch* dihitung hanya jika daya keluaran dari pembangkit sel surya, turbin angin dan baterai lebih kecil dari permintaan beban sistem.
8. Beban *netto* yang dioptimasi dihitung berdasarkan beban total permintaan dikurangi dengan beban yang dapat disuplai oleh pembangkit sel surya dan turbin angin (pembangkit energi baru-terbarukan).
9. Beban *netto* disuplai oleh pembangkit berbahan bakar (sel bahan bakar, turbin mikro, generator diesel) dan baterai yang kemudian pembagian beban per pembangkitnya ditentukan berdasarkan *optimasi economic dispatch*.

Secara detail urutan algoritma diatas dapat ditunjukkan dengan diagram alir pada gambar 3.2 berikut ini:



**Gambar 3. 2** Diagram Alir Algoritma *Economic Dispatch Islanded Microgrid*

## BAB 4 SIMULASI DAN ANALIS

Pada bab ini akan dibahas mengenai hasil simulasi *economic dispatch* dengan menggunakan metode *adaptive particle swarm optimization*. Hasil perhitungan yang diperlihatkan berupa tabel-tabel yang meliputi pembangkitan optimal, biaya optimal dengan berbagai kondisi beban. Hasil dari simulasi ini akan memperlihatkan perbandingan dari aplikasi metode terhadap beberapa studi kasus.

### 4.1 Data Spesifikasi CPU

<i>Processor</i>	: Intel(R) Core(TM) i5-3210M
<i>Speed Processing</i>	: 2.50 Ghz
<i>Installed Memory (RAM)</i>	: 4.00 GB
<i>System Type</i>	: 64-bit Operating System Windows 10

### 4.2 Validasi Program APSO dengan Menggunakan Referensi Buku Allen J Wood

Hasil program optimasi yang telah dibuat dalam penelitian ini divalidasi terlebih dahulu dengan menggunakan contoh permasalahan *economic dispatch* pada contoh 3.A referensi buku Allen J Wood Edisi 3 untuk kemudian hasil optimasi menggunakan iterasi lambda yang sudah diberikan pada referensi tersebut akan dibandingkan dengan metode kecerdasan buatan APSO yang digunakan pada penelitian ini.

**Tabel 4. 1** Profil Pembangkit

No	Jenis Pembangkit	Daya (MW)	
		Minimum	Maksimum
1	Pembangkit batu bara	150	600
2	Pembangkit minyak	100	400
3	Pembangkit minyak	50	200

Sedangkan fungsi biaya operasi untuk setiap unit pembangkit yang digunakan pada kasus ini adalah:

$$F_1(P_1) = (561 + 7.92 P_1 + 0.001562 P_1^2) \text{ \$/h}$$

$$F_2(P_2) = (310 + 7.85 P_2 + 0.00194 P_2^2) \text{ \$/h}$$

$$F_3(P_3) = (78 + 7.97 P_3 + 0.00482 P_3^2) \text{ \$/h}$$

Ketiga pembangkit berbahan bakar ini digunakan untuk menyuplai beban 850 MW. Jika menggunakan metode iterasi lambda seperti yang ada pada referensi buku Allen J Wood didapatkan nilai daya yang dibangkitkan setiap unit pembangkit adalah:

Pembangkit batu bara = 393.2 MW  
 Pembangkit minyak = 334.6 MW  
 Pembangkit minyak = 122.2 MW

Nilai pembangkitkan tiap pembangkit ini jika dimasukkan ke dalam fungsi biaya masing-masing pembangkit maka didapatkan nilai biaya operasi total dari setiap pembangkit seperti berikut:

$$\begin{aligned} F_1(393.2) &= (561 + 7.92 \cdot 393.2 + 0.001562 \cdot 393.2^2) \text{ \$/h} \\ &= 3916.638947 \text{ \$/h} \\ F_2(334.6) &= (310 + 7.85 \cdot 334.6 + 0.00194 \cdot 334.6^2) \text{ \$/h} \\ &= 3153.80689 \text{ \$/h} \\ F_3(122.2) &= (78 + 7.97 \cdot 122.2 + 0.00482 \cdot 122.2^2) \text{ \$/h} \\ &= 1123.910289 \text{ \$/h} \end{aligned}$$

Sehingga didapatkan total biaya dari keseluruhan pembangkit adalah 8194.356126 \\$/h

Sedangkan jika menggunakan metode yang digunakan pada penelitian ini yakni kecerdasan buatan APSO didapatkan nilai daya yang dibangkitkan setiap unit pembangkit adalah:

Pembangkit batu bara = 393.1698 MW  
 Pembangkit minyak = 334.6038 MW  
 Pembangkit minyak = 122.2264 MW

Nilai pembangkitkan tiap pembangkit ini jika dimasukkan ke dalam fungsi biaya masing-masing pembangkit maka didapatkan nilai biaya operasi total dari setiap pembangkit seperti berikut:

$$\begin{aligned} F_1(393.1698) &= (561 + 7.92 \cdot 393.1698 + 0.001562 \cdot 393.1698^2) \text{ \$/h} \\ &= 3916.3630 \text{ \$/h} \\ F_2(334.6038) &= (310 + 7.85 \cdot 334.6038 + 0.00194 \cdot 334.6038^2) \text{ \$/h} \\ &= 3153.8412 \text{ \$/h} \end{aligned}$$

$$F_3(122.2264) = (78 + 7.97 \cdot 122.2264 + 0.00482 \cdot 122.2264^2) \text{ \$/h} \\ = 1124.1519 \text{ \$/h}$$

Sehingga didapatkan total biaya dari keseluruhan pembangkit adalah 8194.3561 \\$/h. Penerapan kedua metode ini menunjukkan perbedaan hasil total biaya operasi dari keseluruhan pembangkit yang tidak terlalu signifikan. Berdasarkan validasi ini dapat disimpulkan bahwa metode *adaptive particle swarm optimization* yang digunakan pada penelitian ini dapat diterapkan untuk permasalahan *economic dispatch*.

### 4.3 Studi Kasus 1

Pada studi kasus 1 total permintaan beban lebih kecil dari daya keluaran pembangkit sel surya dan pembangkit turbin angin sehingga akan ada daya sisa pembangkitan dari kedua pembangkit baru-terbarukan ini yang akan disimpan ke dalam baterai (*energy storage*). Baterai (*energy storage*) yang digunakan pada simulasi ini beroperasi pada kemampuan daya maksimal *charge-discharge*-nya yakni 30 kW tanpa mempertimbangkan berapa daya yang sudah tersimpan atau terpakai sebelumnya pada baterai (*energy storage*).

**Tabel 4. 2** Data Masukan Studi Kasus 1

Ka- sus	Total Beban (kW)	Kece- patan Angin (m/s)	Jumlah Turbin Angin ( <i>unit</i> )	Radiasi Matahari (W/m <sup>2</sup> )	Suhu (°C)	Jumlah Sel Surya (modul)
1	35	10	2	1000	30	302
2	20	10	2	1000	30	302
3	20	8	2	600	50	302
4	25	12	2	800	30	302

Berdasarkan data diatas, maka didapatkan hasil simulasi seperti berikut:

**Tabel 4. 3** Hasil Simulasi Studi Kasus 1

Kasus	Daya Sel Surya (kW)	Daya Turbin Angin (kW)	Total Daya <i>Renewable</i> (kW)	Total Energi Tersimpan (kW)
1	24.44	10.56	35	22.07
2	20	0	20	37.07
3	13.16	6.84	20	13.37
4	19.55	5.45	25	38.55

Berdasarkan hasil simulasi tersebut dapat terlihat perbedaan daya yang dibangkitkan oleh pembangkit sel surya dan pembangkit turbin angin ketika mendapatkan nilai masukan yang bervariasi. Hal ini disebabkan karena setiap pembangkit mempunyai karakteristik yang berbeda sesuai dengan fungsi pembangkitannya masing-masing seperti yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Daya yang dibangkitkan oleh pembangkit sel surya dipengaruhi oleh kondisi radiasi matahari, suhu, dan jumlah dari pembangkit. Sedangkan daya yang dibangkitkan oleh pembangkit turbin angin dipengaruhi oleh kondisi kecepatan angin dan jumlah pembangkitnya. Berbagai variasi total beban disimulasikan untuk mengetahui berapa sisa daya terbangkit yang mampu disimpan ke dalam *energy storage*. Berdasarkan kasus 1 dan kasus 2 dapat terlihat bahwa penggunaan daya dari pembangkit sel surya untuk pemenuhan kebutuhan sistem diutamakan terlebih dahulu sebelum pemanfaatan daya dari pembangkit turbin angin.

#### 4.4 Studi Kasus 2

Pada studi kasus 2 total permintaan beban lebih besar dari total daya keluaran pembangkit sel surya dan pembangkit turbin angin sehingga dibutuhkan pembangkit berbahan bakar (pembangkit sel bahan bakar, pembangkit turbin mikro dan pembangkit generator diesel) untuk memenuhi total permintaan beban. Pada studi kasus 2 ini juga digunakan baterai (*energy storage*) pada sistem. Baterai (*energy storage*) yang digunakan pada simulasi ini beroperasi pada kemampuan daya maksimal *charge-discharge*-nya yakni 30 kW tanpa mempertimbangkan berapa daya yang sudah tersimpan atau terpakai sebelumnya pada *energy storage*. *Adaptive particle swarm optimization* digunakan untuk menentukan daya pembangkitan yang optimal untuk masing-masing pembangkit berbahan bakar dan *energy storage* tersebut. Pada *adaptive particle swarm optimization* ini diterapkan jumlah iterasi sebanyak 25 kali dengan jumlah partikel sebanyak 15. Untuk mengetahui perbedaan daya yang dibangkitkan oleh pembangkit berbahan bakar dan baterai (*energy storage*) maka data masukan pembangkit baru-terbarukan disamakan yakni kecepatan angin diasumsikan 10 m/s, jumlah pembangkit turbin angin sebanyak 2 *unit*, radiasi matahari pada kondisi optimal yakni 1000 W/m<sup>2</sup>, suhu 30 °C dan jumlah pembangkit sel surya sebanyak 302 modul.

**Tabel 4. 4** Data Masukan Studi Kasus 2

Ka- sus	Total Beban (kW)	Kecepatan Angin (m/s)	Jumlah Turbin Angin (unit)	Radiasi Matahari (W/m <sup>2</sup> )	Suhu (°C)	Jumlah Sel Surya (modul)
1	77	10	2	1000	30	302
2	125	10	2	1000	30	302
3	138	10	2	1000	30	302
4	148	10	2	1000	30	302
5	158	10	2	1000	30	302

Beban yang digunakan pada studi kasus ini bervariasi sehingga didapatkan pola pengoperasian dari pembangkit berbahan bakar dan baterai yang berbeda-beda yang dapat dilihat pada tabel 4.5 berikut ini:

**Tabel 4. 5** Hasil Simulasi Daya Terbangkitkan Studi Kasus 2

Ka- sus	Daya Pembangkitan (kW/h)					
	Sel Surya	Turbin Angin	Sel Bahan Bakar	Turbin Mikro	Generator Diesel	Baterai
1	24.44	32.63	-	-	-	19.93
2	24.44	16.32	5	5	27.93	30
3	24.44	32.63	5	5	40.93	30
4	24.44	32.63	5.93	5	50	30
5	24.44	32.63	15.93	5	50	30

Berdasarkan hasil simulasi tersebut, dapat terlihat perbedaan daya yang dibangkitkan oleh pembangkit berbahan bakar dan baterai dengan asumsi data masukan untuk parameter pembangkitan dari pembangkit energi baru-terbarukan besarnya sama sehingga akan menghasilkan daya yang sama dalam berbagai variasi beban. Pengoperasian baterai menjadi prioritas utama dibandingkan dengan pembangkit berbahan bakar. Setelah penggunaan baterai, pengoperasian pembangkit generator diesel mendapat prioritas pengoperasian karena memiliki biaya operasi lebih murah dibandingkan dengan pembangkit berbahan bakar yang lainnya. Sedangkan pembangkit turbin mikro mendapatkan prioritas terakhir dalam pengoperasiannya karena memiliki biaya operasi yang paling mahal.



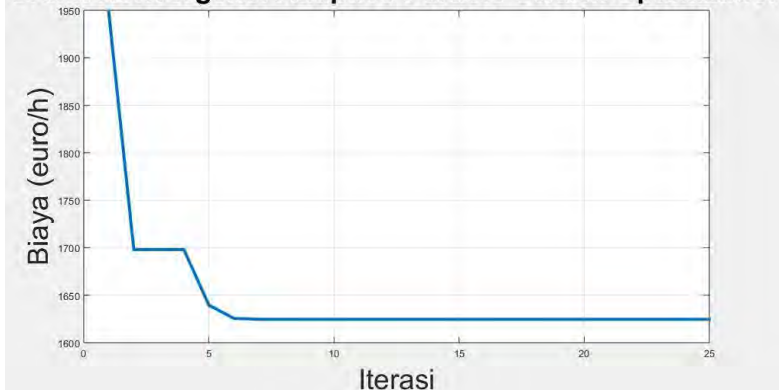
**Tabel 4. 6** Hasil Simulasi Biaya Operasi Studi Kasus 2

Kasus	Biaya (€/h)				
	Sel Bahan Bakar	Turbin Mikro	Generator Diesel	Baterai	Total Biaya Operasi
1	-	-	-	0.08	0.08
2	237.25	252.25	1135.01	0.11	1624.62
3	237.25	252.25	1663.96	0.11	2153.57
4	279.21	252.25	2035.00	0.11	2566.57
5	731.39	252.25	2035.00	0.11	3018.76

Pada kasus pertama, kebutuhan beban sistem adalah 77 kW, dengan pembangkit energi baru-terbarukan yang dapat menghasilkan daya sebesar 57.07 kW masih ada kekurangan daya terbangkitkan sebesar 19.93 kW. Kekurangan daya terbangkitkan ini dipenuhi oleh baterai sebesar 19.93 kW. Pembangkit berbahan bakar belum beroperasi karena kebutuhan dalam sistem sudah dapat terpenuhi dengan pembangkit energi baru-terbarukan dan baterai. Pembangkit berbahan bakar akan beroperasi jika kebutuhan beban dalam sistem tidak dapat terpenuhi oleh pembangkit energi baru-terbarukan dan baterai tersebut.

Pada kasus kedua, kebutuhan beban sistem adalah 125 kW, dengan pembangkit energi baru-terbarukan yang dapat menghasilkan daya sebesar 57.07 kW masih ada kekurangan daya terbangkitkan sebesar 67.93 kW. Kekurangan daya terbangkitkan ini dipenuhi oleh baterai sebesar 30 kW, sel bahan bakar sebesar 5 kW, turbin mikro sebesar 5 kW, generator diesel sebesar 27.93 kW. Baterai dan generator diesel memiliki prioritas pengoperasian karena biaya operasi baterai merupakan yang paling murah dan biaya operasi generator diesel merupakan yang termurah diantara pembangkit berbahan bakar yang lainnya. Pembangkit sel bahan bakar dan turbin mikro beroperasi pada kapasitas minimumnya masing-masing yaitu 5 kW. Adapun grafik konvergensi untuk beban 125 kW adalah sebagai berikut:

### Grafik Konvergensi Adaptive Particle Swarm Optimization

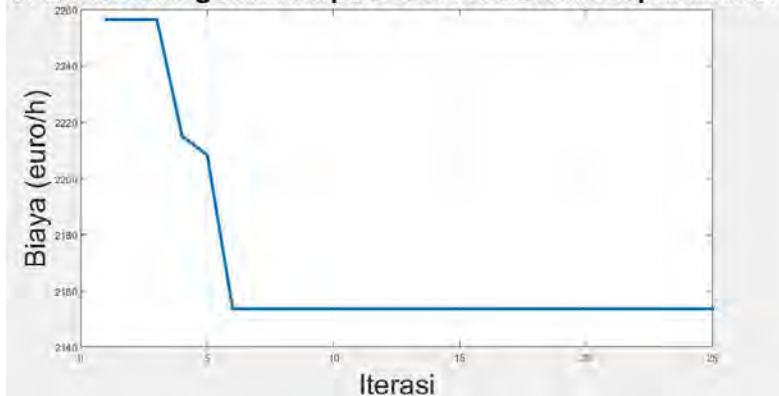


**Gambar 4. 1** Grafik Konvergensi Studi Kasus 2 Pada Beban 125 kW

Grafik diatas menunjukkan konvergensi dari metode *adaptive particle swarm optimization* pada beban 125 kW. Terdapat perubahan nilai *fitness* pada iterasi awal antara 0 sampai 7 dan kemudian mencapai nilai konvergenya sampai iterasi ke 25. Waktu yang dibutuhkan untuk menghasilkan 25 iterasi ini yakni sekitar 0.17 detik.

Pada kasus ketiga, kebutuhan beban sistem adalah 138 kW, dengan pembangkit energi baru-terbarukan yang dapat menghasilkan daya sebesar 57.07 kW masih ada kekurangan daya terbangkitkan sebesar 80.93 kW. Kekurangan daya terbangkitkan ini dipenuhi oleh baterai sebesar 30 kW, sel bahan bakar sebesar 5 kW, turbin mikro sebesar 5 kW, generator diesel sebesar 40.93 kW. Baterai dan generator diesel memiliki prioritas pengoperasian karena biaya operasi baterai merupakan yang paling murah dan biaya operasi generator diesel merupakan yang termurah diantara pembangkit berbahan bakar yang lainnya. Pembangkit sel bahan bakar dan turbin mikro beroperasi pada kapasitas minimumnya masing-masing yaitu 5 kW. Adapun grafik konvergensi untuk beban 138 kW adalah sebagai berikut:

### Grafik Konvergensi Adaptive Particle Swarm Optimization

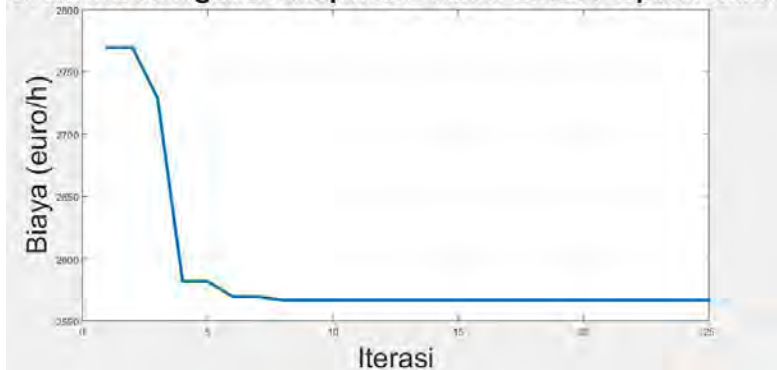


**Gambar 4. 2** Grafik Konvergensi Studi Kasus 2 Pada Beban 138 kW

Grafik diatas menunjukkan konvergensi dari metode *adaptive particle swarm optimization* pada beban 138 kW. Terdapat perubahan nilai *fitness* pada iterasi awal antara 0 sampai 6 dan kemudian mencapai nilai konvergenya sampai iterasi ke 25. Waktu yang dibutuhkan untuk menghasilkan 25 iterasi ini yakni sekitar 0.18 detik.

Pada kasus keempat, kebutuhan beban sistem adalah 148 kW, dengan pembangkit energi baru-terbarukan yang dapat menghasilkan daya sebesar 57.07 kW masih ada kekurangan daya terbangkitkan sebesar 80.93 kW. Kekurangan daya terbangkitkan ini dipenuhi oleh baterai sebesar 30 kW, sel bahan bakar sebesar 5 kW, turbin mikro sebesar 5 kW, generator diesel sebesar 40.93 kW. Baterai, generator diesel dan sel bahan bakar memiliki prioritas pengoperasian karena biaya operasi baterai merupakan yang paling murah dan biaya operasi generator diesel dan sel bahan bakar lebih murah dibandingkan pembangkit turbin mikro. Adapun grafik konvergensi untuk beban 148 kW adalah sebagai berikut:

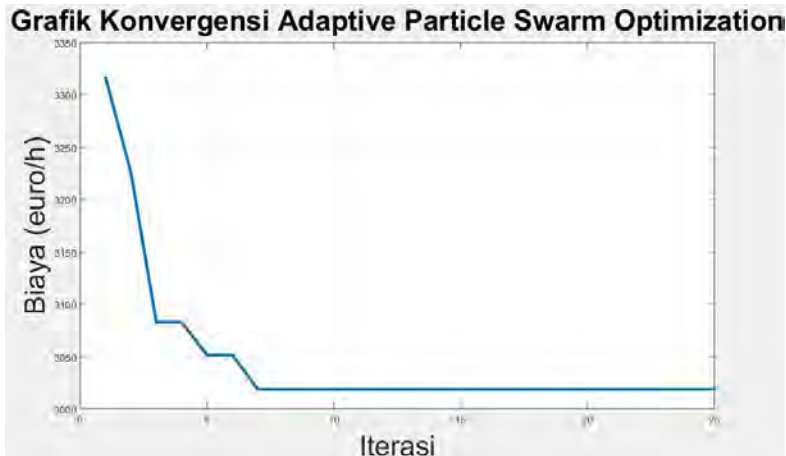
### Grafik Konvergensi Adaptive Particle Swarm Optimization



**Gambar 4. 3** Grafik Konvergensi Studi Kasus 2 Pada Beban 148 kW

Grafik diatas menunjukkan konvergensi dari metode *adaptive particle swarm optimization* pada beban 148 kW. Terdapat perubahan nilai *fitness* pada iterasi awal antara 0 sampai 8 dan kemudian mencapai nilai konvergenya sampai iterasi ke 25. Waktu yang dibutuhkan untuk menghasilkan 25 iterasi ini yakni sekitar 0.17 detik.

Pada kasus kelima, kebutuhan beban sistem adalah 158 kW, dengan pembangkit energi baru-terbarukan yang dapat menghasilkan daya sebesar 57.07 kW masih ada kekurangan daya terbangkitkan sebesar 100.93 kW. Kekurangan daya terbangkitkan ini dipenuhi oleh baterai sebesar 30 kW, sel bahan bakar sebesar 15.93 kW, turbin mikro sebesar 5 kW, generator diesel sebesar 50 kW. Baterai, generator diesel dan sel bahan bakar memiliki prioritas pengoperasian karena biaya operasi baterai merupakan yang paling murah dan biaya operasi generator diesel dan sel bahan bakar lebih murah dibandingkan pembangkit turbin mikro. Adapun grafik konvergensi untuk beban 158 kW adalah sebagai berikut:



**Gambar 4. 4** Grafik Konvergensi Studi Kasus 2 Pada Beban 158 kW

Grafik diatas menunjukkan konvergensi dari metode *adaptive particle swarm optimization* pada beban 158 kW. Terdapat perubahan nilai *fitness* pada iterasi awal antara 0 sampai 7 dan kemudian mencapai nilai konvergenya sampai iterasi ke 25. Waktu yang dibutuhkan untuk menghasilkan 25 iterasi ini yakni sekitar 0.17 detik.

#### 4.5 Studi Kasus 3

Pada studi kasus 3 total permintaan beban lebih besar dari total daya keluaran pembangkit sel surya dan pembangkit turbin angin sehingga dibutuhkan pembangkit berbahan bakar (pembangkit sel bahan bakar, pembangkit turbin mikro dan pembangkit generator diesel) untuk memenuhi total permintaan beban. Berbeda dengan studi kasus 2 yang menggunakan baterai (*energy storage*) dengan kapasitas tertentu pada sistem kelistrikan *microgrid*, pada studi kasus 3 ini tidak digunakan baterai pada sistem. *Adaptive particle swarm optimization* digunakan untuk menentukan daya pembangkitan yang optimal untuk masing-masing pembangkit berbahan bakar tersebut. Pada *adaptive particle swarm optimization* ini diterapkan jumlah iterasi sebanyak 25 kali dengan jumlah partikel sebanyak 15. Untuk mengetahui perbedaan daya yang dibangkitkan oleh pembangkit berbahan bakar maka data masukan pembangkit baru-terbarukan disamakan yakni kecepatan angin diasumsikan 10 m/s, jumlah pembangkit turbin angin sebanyak 2 *unit*,

radiasi matahari pada kondisi optimal yakni 1000 W/m<sup>2</sup>, suhu 30 °C dan jumlah pembangkit sel surya sebanyak 302 modul.

**Tabel 4. 7** Data Masukan Studi Kasus 3

Ka- sus	Total Beban (kW)	Kece- patan Angin (m/s)	Jumlah Turbin Angin ( <i>unit</i> )	Radiasi Matahari (W/m <sup>2</sup> )	Suhu (°C)	Jumlah Sel Surya (modul)
1	77	10	2	1000	30	302
2	125	10	2	1000	30	302
3	138	10	2	1000	30	302
4	148	10	2	1000	30	302
5	158	10	2	1000	30	302

Beban yang digunakan pada studi kasus ini bervariasi sehingga didapatkan pola pengoperasian dari pembangkit berbahan bakar yang berbeda-beda dan dapat dilihat pada tabel 4.8 berikut ini:

**Tabel 4. 8** Hasil Simulasi Daya Terbangkitkan Studi Kasus 3

Kasus	Daya Pembangkitan (kW/h)				
	Sel Surya	Turbin Angin	Sel Bahan Bakar	Turbin Mikro	Generator Diesel
1	24.44	32.63	5	5	9.93
2	24.44	32.63	12.93	5	50
3	24.44	32.63	25	5.93	50
4	24.44	32.63	25	15.93	50
5	24.44	32.63	25	25.93	50

Berdasarkan hasil simulasi tersebut, dapat terlihat perbedaan daya yang dibangkitkan oleh pembangkit berbahan bakar dengan asumsi data masukan untuk parameter pembangkitan dari pembangkit energi baru-terbarukan besarnya sama sehingga akan menghasilkan daya yang sama dalam berbagai variasi beban. Pengoperasian pembangkit generator diesel mendapat prioritas pengoperasian karena memiliki biaya operasi lebih murah dibandingkan dengan pembangkit berbahan bakar yang lainnya. Sedangkan pembangkit turbin mikro mendapatkan prioritas terakhir dalam pengoperasiannya karena memiliki biaya operasi yang paling mahal. Parameter beban yang digunakan pada studi kasus 3 ini disamakan

dengan studi kasus 2 sehingga dapat terlihat perbedaan total biaya operasi yang dikeluarkan untuk memenuhi kebutuhan daya sistem.

**Tabel 4. 9** Hasil Simulasi Biaya Operasi Studi Kasus 3

Kasus	Biaya (€/h)			
	Sel Bahan Bakar	Turbin Mikro	Generator Diesel	Total Biaya Operasi
1	237.25	252.25	408.19	897.69
2	595.53	252.25	2035	2882.78
3	1143.25	297	2035	3475.25
4	1143.25	779.18	2035	3957.43
5	1143.25	1263.37	2035	4441.62

Pada kasus pertama, kebutuhan beban sistem adalah 77 kW, dengan pembangkit energi baru-terbarukan yang dapat menghasilkan daya sebesar 57.07 kW masih ada kekurangan daya terbangkitkan sebesar 19.93 kW. Kekurangan daya terbangkitkan ini dipenuhi oleh sel bahan bakar sebesar 5 kW, turbin mikro sebesar 5 kW dan generator diesel sebesar 9.93 kW. Pembangkit generator diesel dan sel bahan bakar memiliki prioritas pengoperasian karena biaya operasi pembangkit sel bahan bakar dan generator diesel lebih murah dibandingkan dengan pembangkit turbin mikro. Perbandingan biaya operasi yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan dengan atau tanpa penggunaan baterai (*energy storage*) dapat dilihat pada tabel 4.10 berikut ini:

**Tabel 4. 10** Perbandingan Biaya Operasi pada Beban 77 kW

	Total Biaya Operasi (€/h)
Menggunakan <i>energy storage</i>	0.08
Tanpa <i>energy storage</i>	897.69

Pada kasus kedua, kebutuhan beban sistem adalah 125 kW, dengan pembangkit energi baru-terbarukan yang dapat menghasilkan daya sebesar 57.07 kW masih ada kekurangan daya terbangkitkan sebesar 67.93 kW. Kekurangan daya terbangkitkan ini dipenuhi sel bahan bakar sebesar 12.93 kW, turbin mikro sebesar 5 kW, generator diesel sebesar 50 kW. Pembangkit generator diesel dan sel bahan bakar memiliki prioritas pengoperasian karena biaya operasi pembangkit sel bahan bakar dan generator diesel lebih murah dibandingkan dengan pembangkit turbin

mikro. Perbandingan biaya operasi yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan dengan atau tanpa penggunaan baterai (*energy storage*) dapat dilihat pada tabel 4.11 berikut ini:

**Tabel 4. 11** Perbandingan Biaya Operasi Beban 125 kW

	Total Biaya Operasi (€/h)
Menggunakan <i>energy storage</i>	1624.62
Tanpa <i>energy storage</i>	2882.78

Pada kasus ketiga, kebutuhan beban sistem adalah 138 kW, dengan pembangkit energi baru-terbarukan yang dapat menghasilkan daya sebesar 57.07 kW masih ada kekurangan daya terbangkitkan sebesar 80.93 kW. Kekurangan daya terbangkitkan ini dipenuhi oleh sel bahan bakar sebesar 25 kW, turbin mikro sebesar 5.93 kW, generator diesel sebesar 50 kW. Pembangkit generator diesel dan sel bahan bakar memiliki prioritas pengoperasian karena biaya operasi pembangkit sel bahan bakar dan generator diesel lebih murah dibandingkan dengan pembangkit turbin mikro. Perbandingan biaya operasi yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan dengan atau tanpa penggunaan baterai (*energy storage*) dapat dilihat pada tabel 4.12 berikut ini:

**Tabel 4. 12** Perbandingan Biaya Operasi Beban 138 kW

	Total Biaya Operasi (€/h)
Menggunakan <i>energy storage</i>	2153.57
Tanpa <i>energy storage</i>	3475.25

Pada kasus keempat kebutuhan beban sistem adalah 148 kW, dengan pembangkit energi baru-terbarukan yang dapat menghasilkan daya sebesar 57.07 kW masih ada kekurangan daya terbangkitkan sebesar 90.93 kW. Kekurangan daya terbangkitkan ini dipenuhi oleh sel bahan bakar sebesar 25 kW, turbin mikro sebesar 15.93 kW, generator diesel sebesar 50 kW. Pembangkit generator diesel dan sel bahan bakar memiliki prioritas pengoperasian karena biaya operasi pembangkit sel bahan bakar dan generator diesel lebih murah dibandingkan dengan pembangkit turbin mikro. Perbandingan biaya operasi yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan dengan atau tanpa penggunaan baterai (*energy storage*) dapat dilihat pada tabel 4.13 berikut ini:



**Tabel 4. 13** Perbandingan Biaya Operasi Beban 148 kW

	Total Biaya Operasi (€/h)
Menggunakan <i>energy storage</i>	2566.57
Tanpa <i>energy storage</i>	3957.43

Pada kasus kelima, kebutuhan beban sistem adalah 158 kW, dengan pembangkit energi baru-terbarukan yang dapat menghasilkan daya sebesar 57.07 kW masih ada kekurangan daya terbangkitkan sebesar 100.93 kW. Kekurangan daya terbangkitkan ini dipenuhi oleh sel bahan bakar sebesar 25 kW, turbin mikro sebesar 25.93 kW, generator diesel sebesar 50 kW. Pembangkit generator diesel dan sel bahan bakar memiliki prioritas pengoperasian karena biaya operasi pembangkit sel bahan bakar dan generator diesel lebih murah dibandingkan dengan pembangkit turbin mikro. Perbandingan biaya operasi yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan dengan atau tanpa penggunaan baterai (*energy storage*) dapat dilihat pada tabel 4.14 berikut ini:

**Tabel 4. 14** Perbandingan Biaya Operasi Beban 158 kW

	Total Biaya Operasi (€/h)
Menggunakan <i>energy storage</i>	3018.76
Tanpa <i>energy storage</i>	4441.62

Berdasarkan dari kelima kasus variasi beban yang telah disimulasikan, dapat terlihat jika menggunakan baterai (*energy storage*) dalam sistem akan berpengaruh pada penghematan biaya operasi untuk pemenuhan kebutuhan sistem jika dibandingkan tanpa menggunakan baterai (*energy storage*).

#### 4.6 Studi Kasus 4

Pada studi kasus 4 ini dilakukan perbandingan hasil dari metode APSO dengan metode *quadratic programming*. Perbandingan ini dilakukan dengan memasukkan nilai beban yang berubah-berubah dengan kondisi data masukan pembangkit baru-terbarukan disamakan yakni kecepatan angin diasumsikan 10 m/s, jumlah pembangkit turbin angin sebanyak 2 *unit*, radiasi matahari pada kondisi optimal yakni 1000 W/m<sup>2</sup>, suhu 30 °C dan jumlah pembangkit sel surya sebanyak 302 modul. Data masukan untuk studi kasus 4 dapat dilihat pada tabel 4.15 berikut ini:

**Tabel 4. 15** Data Masukan Studi Kasus 4

Ka- sus	Total Beban (kW)	Kece- patan Angin (m/s)	Jumlah Turbin Angin ( <i>unit</i> )	Radiasi Matahari (W/m <sup>2</sup> )	Suhu (°C)	Jumlah Sel Surya (modul)
1	40	10	2	1000	30	302
2	84	10	2	1000	30	302
3	175	10	2	1000	30	302

Beban yang digunakan pada studi kasus ini bervariasi sehingga didapatkan pola pengoperasian dari pembangkit berbahan bakar yang berbeda-beda. Data masukan studi kasus ini juga digunakan pada kedua metode untuk mendapatkan perbandingan hasil dari kedua metode tersebut. Hasil simulasi percobaan dengan menggunakan metode APSO dapat dilihat pada tabel 4.16 dan tabel 4.17.

**Tabel 4. 16** Hasil Simulasi Daya Terbangkitkan dan Waktu yang Dibutuhkan Studi Kasus 4 APSO

Ka- sus	Daya Pembangkitan (kW/h)						Waktu (detik)
	Sel Surya	Tur- bin Angin	Sel Bahan Bakar	Tur- bin Mikro	Gene- rator Diesel	Baterai	
1	24.44	32.63	-	-	-	+19.93	0.00552
2	24.44	16.32	-	-	-	-26.93	0.00432
3	24.44	32.63	25	12.93	50	-30	0.17808

Terdapat perbedaan pola operasi dari setiap pembangkit dikarenakan kebutuhan beban yang bervariasi pada sistem. Pada kasus 1 baterai mengalami proses *charge* (+) karena adanya kelebihan daya yang terbangkitkan oleh pembangkit energi baru-terbarukan dan pembangkit berbahan bakar belum beroperasi karena kebutuhan beban sistem sudah dapat terpenuhi oleh pembangkitan dari pembangkit energi baru-terbarukan. Pada kasus 2 dan kasus 3 baterai mengalami proses *discharge* (-) karena daya yang dibangkitkan oleh pembangkit energi baru-terbarukan belum dapat memenuhi kebutuhan sistem seluruhnya. Dari ketiga kasus tersebut dapat terlihat bahwa metode APSO ini membutuhkan waktu untuk proses *running* dari kasus 1 sampai kasus 3 selama masing-masing 0.00552 detik, 0.00432 detik dan 0.17808 detik.

**Tabel 4. 17** Hasil Simulasi Biaya Operasi Studi Kasus 4 APSO

Kasus	Biaya (€/h)				
	Sel Bahan Bakar	Turbin Mikro	Generator Diesel	Baterai	Total Biaya Operasi
1	-	-	-	-	-
2	-	-	-	0.10	0.10
3	1143.25	634.32	2035	0.11	3812.68

Berdasarkan hasil simulasi percobaan dengan metode APSO, dapat terlihat bahwa pada kasus 1 belum memerlukan biaya operasi karena kebutuhan beban sistem masih dapat terpenuhi oleh daya yang dibangkitkan oleh pembangkit energi baru-terbarukan. Sedangkan pada kasus 2 dan 3 sudah memerlukan biaya operasi karena baterai sudah mengalami proses *discharge* dan pembangkit berbahan bakar sudah beroperasi. Sedangkan hasil simulasi percobaan dengan menggunakan metode *quadratic programming* dapat dilihat pada tabel 4.18 dan tabel 4.19.

**Tabel 4. 18** Hasil Simulasi Daya Terbangkitkan dan Waktu yang Dibutuhkan Studi Kasus 4 *Quadratic Programming*

Kasus	Daya Pembangkitan (kW/h)						Waktu (detik)
	Sel Surya	Turbin Angin	Sel Bahan Bakar	Turbin Mikro	Generator Diesel	Baterai	
1	24.43	32.63	-	-	-	+19.93	0.00588
2	24.44	16.32	-	-	-	-26.93	0.00541
3	24.44	32.63	25	12.93	50	-30	0.26034

Terdapat perbedaan pola operasi dari setiap pembangkit dikarenakan kebutuhan beban yang bervariasi pada sistem. Pada kasus 1 baterai mengalami proses *charge* (+) karena adanya kelebihan daya yang terbangkitkan oleh pembangkit energi baru-terbarukan dan pembangkit berbahan bakar belum beroperasi karena kebutuhan beban sistem sudah dapat terpenuhi oleh pembangkitan dari pembangkit energi baru-terbarukan. Pada kasus 2 dan kasus 3 baterai mengalami proses *discharge* (-) karena daya yang dibangkitkan oleh pembangkit energi baru-terbarukan belum dapat memenuhi kebutuhan sistem seluruhnya. Dari ketiga kasus tersebut dapat terlihat bahwa metode *quadratic*

*programming* ini membutuhkan waktu untuk proses *running* dari kasus 1 sampai kasus 3 selama masing-masing 0.00588 detik, 0.00541 detik dan 0.26034 detik.

**Tabel 4. 19** Hasil Simulasi Biaya Operasi Studi Kasus 4 *Quadratic Programming*

Kasus	Biaya (€/h)				
	Sel Bahan Bakar	Turbin Mikro	Generator Diesel	Baterai	Total Biaya Operasi
1	-	-	-	-	-
2	-	-	-	0.10	0.10
3	1143.25	634.32	2035	0.11	3812.68

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan dapat terlihat bahwa metode APSO maupun metode *quadratic programming* dapat menghasilkan nilai optimasi pembagian beban yang sama pada setiap pembangkit sehingga menghasilkan total biaya operasi yang sama. Sehingga untuk membandingkan metode APSO dengan *quadratic programming* dapat ditinjau dari berbagai aspek lain yakni dimana berdasarkan hasil simulasi tersebut APSO memiliki kemampuan untuk mencari nilai optimum dalam waktu yang rata-rata lebih singkat, namun jumlah iterasi dan partikel pada metode APSO harus disesuaikan berdasarkan kompleksitas dari kasus yang ingin dioptimasi untuk mendapatkan hasil optimum yang konvergen pada setiap kali percobaan.

#### 4.7 Studi Kasus 5

Pada studi kasus 5 ini dilakukan perbandingan hasil dari metode *Particle Swarm Optimization* dengan metode *Adaptive Particle Swarm Optimization*. Perbandingan ini dilakukan dengan memasukkan nilai kebutuhan beban sistem dalam kondisi 125 kW. Percobaan dilakukan sebanyak 5 kali baik untuk metode *Adaptive Particle Swarm Optimization* maupun metode *Particle Swarm Optimization*. Hasil dari percobaan simulasi kedua metode dapat dilihat pada tabel 4.20 dan tabel 4.21.

**Tabel 4. 20** Hasil Simulasi PSO

Iterasi ke-	Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3	Percobaan 4	Percobaan 5
1	32.37	32.74	32.36	32.74	32.74
2	22.29	19.57	20.32	17.39	19.01
3	20.78	19.25	17.22	17.39	18.85
4	19.44	18.52	17.22	17.39	18.73
5	17.47	18.15	17.22	16.81	16.94
6	17.47	16.78	17.11	16.81	16.94
7	17.47	16.78	16.55	16.81	16.94
8	16.43	16.78	16.55	16.81	16.94
9	16.43	16.78	16.55	16.81	16.94
10	16.43	16.32	16.55	16.59	16.94
11	16.43	16.32	16.55	<u>16.25</u>	16.90
12	16.43	16.32	16.55	16.25	<u>16.25</u>
13	16.43	16.32	16.55	16.25	16.25
14	16.43	16.32	16.55	16.25	16.25
15	16.43	16.32	16.55	16.25	16.25
16	16.43	16.32	16.55	16.25	16.25
17	16.43	16.32	16.55	16.25	16.25
18	16.43	16.32	16.55	16.25	16.25
19	16.43	<u>16.25</u>	<u>16.25</u>	16.25	16.25
20	<u>16.25</u>	16.25	16.25	16.25	16.25
21	16.25	16.25	16.25	16.25	16.25
22	16.25	16.25	16.25	16.25	16.25
23	16.25	16.25	16.25	16.25	16.25
24	16.25	16.25	16.25	16.25	16.25
25	16.25	16.25	16.25	16.25	16.25

Berdasarkan hasil simulasi menggunakan metode PSO, nilai optimum secara konvergen diperoleh pada iterasi ke 20, 19, 19, 11 dan 12. Sehingga jika dirata-rata dari 5 percobaan yang telah dilakukan didapatkan nilai optimum rata-rata diperoleh pada iterasi ke-16.2.

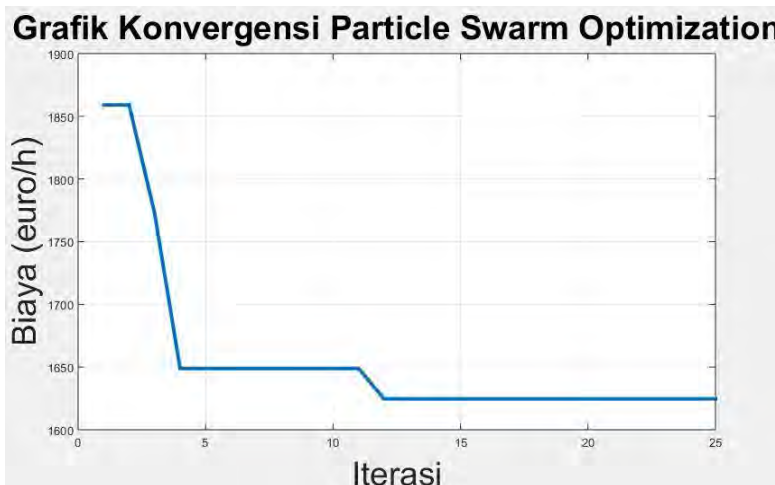
**Tabel 4. 21** Hasil Simulasi APSO

Iterasi ke-	Percoba-an 1	Percoba-an 2	Percoba-an 3	Percoba-an 4	Percoba-an 5
1	32.48	32.51	32.50	32.09	32.74
2	20.80	19.30	17.29	21.69	19.81
3	16.85	16.85	17.29	19.47	18.24
4	16.85	16.85	17.29	16.39	16.90
5	16.85	16.85	16.92	16.39	16.35
6	16.85	16.85	<u>16.25</u>	16.39	16.31
7	16.85	16.85	16.25	16.39	<u>16.25</u>
8	<u>16.25</u>	16.80	16.25	16.39	16.25
9	16.25	16.80	16.25	<u>16.25</u>	16.25
10	16.25	<u>16.25</u>	16.25	16.25	16.25
11	16.25	16.25	16.25	16.25	16.25
12	16.25	16.25	16.25	16.25	16.25
13	16.25	16.25	16.25	16.25	16.25
14	16.25	16.25	16.25	16.25	16.25
15	16.25	16.25	16.25	16.25	16.25
16	16.25	16.25	16.25	16.25	16.25
17	16.25	16.25	16.25	16.25	16.25
18	16.25	16.25	16.25	16.25	16.25
19	16.25	16.25	16.25	16.25	16.25
20	16.25	16.25	16.25	16.25	16.25
21	16.25	16.25	16.25	16.25	16.25
22	16.25	16.25	16.25	16.25	16.25
23	16.25	16.25	16.25	16.25	16.25

**Tabel 4.21** Hasil Simulasi APSO lanjutan

Iterasi ke-	Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3	Percobaan 4	Percobaan 5
24	16.25	16.25	16.25	16.25	16.25
25	16.25	16.25	16.25	16.25	16.25

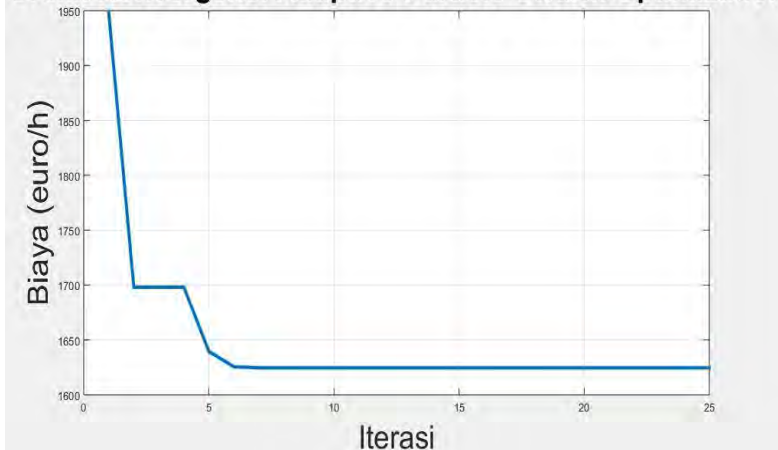
Berdasarkan hasil simulasi menggunakan metode APSO, nilai optimum secara konvergen diperoleh pada iterasi ke 8, 10, 6, 9 dan 7. Sehingga jika dirata-rata dari 5 percobaan yang telah dilakukan didapatkan nilai optimum rata-rata diperoleh pada iterasi ke-8. Adapun grafik konvergensi *particle swarm optimization* pada percobaan ke-5 dapat dilihat pada gambar 4.5, sedangkan grafik konvergensi *adaptive particle swarm optimization* dapat dilihat pada gambar 4.6.



**Gambar 4. 5** Grafik Konvergensi PSO saat Beban 125 kW (Percobaan ke -5)

Pada gambar 4.5 diatas dapat terlihat bahwa dengan metode PSO proses konvergensi untuk memperoleh nilai optimum diperoleh pada iterasi ke-12.

### Grafik Konvergensi Adaptive Particle Swarm Optimization



**Gambar 4. 6** Grafik Konvergensi APSO saat Beban 125 kW (Percobaan ke -5)

Pada gambar 4.6 diatas dapat terlihat bahwa dengan menggunakan metode Adaptive Particle Swarm Optimization proses optimasi mencapai nilai optimum (minimum) yang konvergensi pada iterasi ke-7.

Berdasarkan hasil simulasi tersebut dapat terlihat bahwa metode yang digunakan pada penelitian ini yakni metode *Adaptive Particle Swarm Optimization* mencapai nilai konvergensi lebih cepat dibandingkan dengan metode *Particle Swarm Optimization*. Dengan metode *Particle Swarm Optimization* nilai optimum mencapai konvergensi awal pada rata-rata iterasi ke 16.2, sedangkan dengan metode *Adaptive Particle Swarm Optimization* nilai optimum yang konvergen telah dicapai pada rata-rata iterasi ke 8. Dengan demikian berdasarkan hasil simulasi tersebut, metode *Adaptive Particle Swarm Optimization* yang digunakan pada penelitian ini memiliki efisiensi yang lebih baik karena dapat mencapai nilai optimum yang konvergen dalam iterasi yang lebih singkat dibandingkan dengan metode *Particle Swarm Optimization*.



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## LAMPIRAN

### maindata

```
%      a  b      c Pmin Pmax
data = [12 45      0.01 5   25 %fuel cell
        12 48      0.01 5   75 %microturbine
        10 40      0.01 5   50 %diesel engine
        0  0.00380 0    0    0  %battery
        0  0      0    0    999999999999999]; %Biaya Beli PLN
```

```
beban = 158; %Besarnya beban (kW)
```

### masukinotomatis

```
fprintf(['OPTIMASI      ADAPTIVE      PARTICLE      SWARM
OPTIMIZATION'])
fprintf('\n')
beban = input ('Masukkan Beban (kW) = ');
% islanded = 1;
islanded = input ('Apakah Sistem Islanded? (Islanded = 1, Connecting to
Grid = 0)  = ');
if islanded == 0
    biaya_beli = input ('Berapakah Biaya Beli Daya dari PLN? (euro/kWh)
= ');
    biaya_jual = input ('Berapakah Harga Jual Daya ke PLN? (euro/kWh)
= ');
end
data(jum_pembangkit,5) = input ('Masukkan Pmax Baterai Discharge /
Charge          (kW)          =          ');
```

### PhotoVoltaic

```
function Ppv = PhotoVoltaic (G,T,M) % Pembangkitan PV dalam kW
```

```
Pstc    = 83;    % Daya Maksimum PV saat STC dalam W
Gstc    = 1000;  % Irradiasi PV saat STC dalam W/m2
k        = -0.5; % Koefisien Temperatur untuk Daya dalam %/Celcius
Tr       = 25;   % Temperatur Referensi dalam Celcius
```

```
Ppv = (Pstc*(G/Gstc)*(1+((k/100)*(T-Tr)))*M)/1000;
end
```

## WindTurbine

**function** Pwt = WindTurbine (v,J) %Pembangkitan WT Dalam kW

Vac = v; % Kecepatan Angin Aktual Dalam m/s

Vci = 2; % Kecepatan Angin Cut In Dalam m/s

Vr = 11; % Kecepatan Angin Rating Dalam m/s

Vco = 18; % Kecepatan Angin Cut Out Dalam m/s

**if** Vr < Vco

**if** Vac < Vci,

        Pwt = 0;

**end**

**if** Vac >= Vci,

**if** Vac <= Vr,

            Pwt = (((-0.019619269619270 \*(Vac^3)) + (0.587412587412590  
\*(Vac^2)) + (-2.681429681429701\*(Vac)) + 4.0075757575796)\*J);

**elseif** Vr < Vac < Vco

            Pwt = 22\*J;

**else**

            Pwt = ((0)\*J);

**end**

**end**

**end**

**end**

## APSO

clc;

clear;

clear **all**;

tic

%---INISIASI AWAL PARAMETER PEMBANGKIT---

maindata; %Mengambil Data

n = length(data(:,1)); %Banyaknya Jumlah Pembangkit + Baterai

Pmaxt = sum(data(1:n-1,5)); %Jumlah Total Daya Maksimal  
Terbangkitkan dari PThermal

```
Pmint = sum(data(1:n-1,4)); %Jumlah Total Daya Minimum
Terbangkitkan dari PThermal
```

```
%---PARAMETER SETTINGAN PSO---
```

```
maxiterasi = 25; %Banyaknya Jumlah Iterasi
jum_partikel = 15;%Banyaknya Jumlah Partikel
% w = 0.9; %PSO
% c1 = 0.01; %PSO
% c2 = 0.5; %PSO
wmin = 0.4; %APSO
wmax = 0.9; %APSO
c1_awal = 2.5; %APSO
c1_akhir = 0.5; %APSO
c2_awal = 0.5; %APSO
c2_akhir = 2.5; %APSO
jum_pembangkit_thermal = n-2; %Banyaknya Jumlah Pembangkit
Thermal
jum_pembangkit = n-1; %Banyaknya Jumlah Pembangkit + Baterai
jum_pembangkit_dan_pln = n;
```

```
masukinotomatis; %Untuk Memasukkan Inputan Data Secara Manual
```

```
%---PEMBANGKITAN RENEWABLE ENERGY---
```

```
v = 10; %Kecepatan Angin WT (m/s)
J = 2; %Jumlah WT
G = 1000; %Iradiasi PV Dalam W/m2
T = 30; %Temperatur PV Dalam Celcius
M = 302; %Jumlah Modul PV
Ppv = PhotoVoltaic (G,T,M); %Pembangkitan PV
Pwt = WindTurbine (v,J); %Pembangkitan WT
TotR = Ppv + Pwt; %Total Renewable Power
Pbatt = data(jum_pembangkit,5); %Pmax Charge-Discharge Baterai
```

```
%---INISIASI PARAMETER YANG DIPAKAI PADA PROGRAM---
```

```
%**ISLANDED**
```

```
if islanded == 1
```

```
posisi_partikel = zeros(jum_partikel,jum_pembangkit); %Membuat
Matrix 0
```

```
vpartikel = zeros(jum_partikel,jum_pembangkit); %Membuat Matrix 0
```

```

biaya = zeros(jum_partikel,1); %Membuat Matrix 0
pbest = zeros(jum_partikel,jum_pembangkit); %Membuat Matrix 0
pgbest = zeros(1,jum_pembangkit);%Membuat Matrix 0
vmin = zeros(jum_partikel,jum_pembangkit);%Membuat Matrix 0
vmax = zeros(jum_partikel,jum_pembangkit);%Membuat Matrix 0
end
%***

%**CONNECTING TO GRID**
if islanded == 0
    posisi_partikel = zeros (jum_partikel,jum_pembangkit_dan_pln);
    %Membuat Matrix 0
    vpartikel = zeros (jum_partikel,jum_pembangkit_dan_pln);
    %Membuat Matrix 0
    biaya = zeros (jum_partikel,1); %Membuat Matrix 0
    pbest = zeros (jum_partikel,jum_pembangkit_dan_pln); %Membuat
    Matrix 0
    pgbest = zeros (1,jum_pembangkit_dan_pln); %Membuat Matrix 0
    vmin = zeros (jum_partikel,jum_pembangkit_dan_pln); %Membuat
    Matrix 0
    vmax = zeros (jum_partikel,jum_pembangkit_dan_pln); %Membuat
    Matrix 0
end
%***

%---KONEKSI RENEWABLE ENERGY DENGAN THERMAL
POWER---
%*****
if (beban <= TotR) %Beban Hanya Ditanggung Oleh Renewable

    data(1:jum_pembangkit_thermal,1:3) = inf; %Cost Function
    Pembangkit Thermal Sangat Mahal
    data(1:jum_pembangkit_thermal,4:5) = 0; %Pembangkit Thermal
    Tidak Beroperasi

    if(beban < TotR)
        kelebihan_daya = TotR - beban;

        %**CONNECTING TO GRID**

```

```

if islanded == 0
    if kelebihan_daya > data(jum_pembangkit, 5)
        jual_pln = kelebihan_daya - data(jum_pembangkit, 5);
        kelebihan_daya = data(jum_pembangkit,5);
    else
        data(jum_pembangkit,5) = kelebihan_daya; %Kelebihan Daya
Disimpan di dalam Baterai
    end
end
%***

%***ISLANDED**
if islanded == 1
    data(jum_pembangkit,5) = kelebihan_daya; %Kelebihan Daya
Disimpan di dalam Baterai
end
%***

if (beban > Ppv)
    Pwt = beban - Ppv; %Beban Diutamakan Disuplai Oleh PV
elseif (beban <= Ppv)
    Ppv = beban;
    Pwt = 0;
end
elseif(beban == TotR)
    Ppv = Ppv;
    Pwt = Pwt;
end

%---TAMPILAN OUTPUT PROGRAM---

fprintf('=====')
fprintf('\n')
fprintf('ECONOMIC    DISPATCH    SISTEM    KELISTRIKAN
MICROGRID')
fprintf('\n')
fprintf('NUGROHO WICAKSONO-TEKNIK ELEKTRO ITS')
fprintf('\n')

```

```

fprintf('\n')
fprintf('Total Load           = %10.4f',beban)
fprintf(' kW')
fprintf('\n')

fprintf('\n')
fprintf('PhotoVoltaic Power   = %10.4f',Ppv)
fprintf(' kW')

fprintf('\n')
fprintf('Wind Turbine Power   = %10.4f',Pwt)
fprintf(' kW')
fprintf('\n')

fprintf('\n')
fprintf('Total Renewable Power = %10.4f',Ppv + Pwt)
fprintf(' kW')
fprintf('\n')

fprintf('Energy Saving           = %10.4f',kelebihan_daya)
fprintf(' kW')
fprintf('\n')

%***CONNECTING TO GRID***
if islanded == 0
    if jual_pln > 0 %JIKA CONNECTING TO GRID
        fprintf('PLN [JUAL DAYA]       = %10.4f',jual_pln)
        fprintf(' kW')
        fprintf('\n')
        fprintf('Biaya [Pendapatan]       = %10.4f',jual_pln*biaya_jual)
        fprintf(' (euro)')
        fprintf('\n')
    end
end
end

% -----
fprintf('\n')
toc

```

```

fprintf('=====')
fprintf('\n')
%*****
elseif (beban > TotR && beban <= TotR + Pbatt)
    kekurangan_daya_renewable = beban - TotR;
    biaya_baterai = kekurangan_daya_renewable *
data(jum_pembangkit,2);

%---TAMPILAN OUTPUT PROGRAM---

fprintf('=====')
fprintf('\n')
fprintf('ECONOMIC DISPATCH SISTEM KELISTRIKAN
MICROGRID')
fprintf('\n')
fprintf('NUGROHO WICAKSONO-TEKNIK ELEKTRO ITS')
fprintf('\n')

fprintf('\n')
fprintf('Total Load = %10.4f,beban)
fprintf(' kW')
fprintf('\n')

fprintf('\n')
fprintf('PhotoVoltaic Power = %10.4f,Ppv)
fprintf(' kW')

fprintf('\n')
fprintf('Wind Turbine Power = %10.4f,Pwt)
fprintf(' kW')
fprintf('\n')

fprintf('\n')
fprintf('Total Renewable Power = %10.4f,Ppv + Pwt)
fprintf(' kW')
fprintf('\n')

fprintf('Baterai = %10.4f,kekurangan_daya_renewable)

```



```

fprintf(' kW')
fprintf('\n')

fprintf('\n')
fprintf('Total Biaya                = %10.4f,biaya_baterai)
fprintf('(euro)')
fprintf('\n')

fprintf('\n')
toc

fprintf('=====')
fprintf('\n')

elseif (data(jum_pembangkit,5) == 0 && beban > TotR +
data(jum_pembangkit,5) && beban < TotR + data(jum_pembangkit,5) +
Pmint)
    daya_beli = beban - (TotR + data(jum_pembangkit,5));
    %---TAMPILAN OUTPUT PROGRAM---

fprintf('=====')
fprintf('\n')
fprintf('ECONOMIC    DISPATCH    SISTEM    KELISTRIKAN
MICROGRID')
fprintf('\n')
fprintf('NUGROHO WICAKSONO-TEKNIK ELEKTRO ITS')
fprintf('\n')

fprintf('\n')
fprintf('Total Load                = %10.4f,beban)
fprintf(' kW')
fprintf('\n')

fprintf('\n')
fprintf('PhotoVoltaic Power        = %10.4f,Ppv)
fprintf(' kW')

fprintf('\n')
fprintf('Wind Turbine Power        = %10.4f,Pwt)

```

```

fprintf(' kW')
fprintf('\n')

fprintf('\n')
fprintf('Total Renewable Power = %10.4f,Ppv + Pwt)
fprintf(' kW')
fprintf('\n')

fprintf('\n')
fprintf('Baterai = %10.4f,data(jum_pembangkit,5))
fprintf(' kW')
fprintf('\n')

%**CONNECTING TO GRID**
if islanded == 0
    fprintf('\n')
    fprintf('PLN [BELI] = %10.4f,daya_beli)
    fprintf(' kW')
    fprintf('\n')
    fprintf('Biaya [PENGELUARAN] = %10.4f,daya_beli*biaya_beli)
    fprintf(' kW')
    fprintf('\n')
end
%***

%**ISLANDED**
if islanded == 1
    fprintf('\n')
    fprintf('Pelepasan Beban = %10.4f,daya_beli)
    fprintf('kW')
    fprintf('\n')
end
%***

fprintf('\n')
toc

fprintf('=====')
fprintf('\n')

```

```

elseif (beban > TotR && beban <= Pmaxt + TotR) %Beban Ditanggung
Oleh Renewable dan Thermal Power
%   wait_bar = waitbar(0,'Now Loading...');

    %---*MASUK KE DALAM PERHITUNGAN ECONOMIC
DISPATCH PSO*---
    it = 1; %Masuk ke Iterasi Pertama
    beban2 = beban - TotR; %Beban yang Masuk ke Perhitungan ED

    %---INISIASI POSISI PARTIKEL AWAL---
    for i = 1:jum_partikel
        for j = 1:jum_pembangkit
            posisi_partikel(i,j) = data(j,4) + (data(j,5) - data(j,4))*rand;
%Random Posisi Partikel
        end
        posisi_sementara_partikel = posisi_partikel; %Record Posisi
Partikel Awal
        daya_terbangkit = sum(posisi_sementara_partikel,2); %Posisi
Partikel = Daya yang Terbangkitkan
    end

    %---TOTAL PEMBANGKITAN = LOAD---
    for i = 1:jum_partikel
        if daya_terbangkit(i,1) > beban2 %Jika Beban < Pembangkit
            daya_lebih = daya_terbangkit(i,1) - beban2;
            while (daya_lebih > 0)
                k = round(1 + (jum_pembangkit - 1)*rand); %Random
Pembangkit
                x = posisi_sementara_partikel(i,k);
                posisi_sementara_partikel(i,k) = posisi_sementara_partikel
(i,k) - daya_lebih;
                if posisi_sementara_partikel(i,k) < data(k,4)
                    posisi_sementara_partikel(i,k) = data(k,4); %Pembatas
Posisi Partikel
                daya_lebih = daya_lebih - (x - posisi_sementara_partikel
(i,k));
            end
        end
    end

```

```

        else
            daya_lebih = 0;
        end
    end
elseif daya_terbangkit(i,1) < beban2 %Jika Beban > Pembangkit
    daya_kurang = beban2 - daya_terbangkit(i,1);
    while (daya_kurang > 0)
        k = round(1 + (jum_pembangkit - 1)*rand); %Random
    Pembangkit
        x = posisi_sementara_partikel(i,k);
        posisi_sementara_partikel(i,k) =
posisi_sementara_partikel(i,k) + daya_kurang;
        if posisi_sementara_partikel(i,k) > data(k,5)
            posisi_sementara_partikel(i,k) = data(k,5); %Pembatas
        Posisi Partikel
            daya_kurang = daya_kurang - (posisi_sementara_partikel
(i,k) - x);
        else
            daya_kurang = 0;
        end
    end
end
posisi_partikel(i,:) = posisi_sementara_partikel(i,:);
end
posisi_partikel = posisi_sementara_partikel; %Record Posisi
Partikel Setelah Dievaluasi
daya_terbangkit = sum(posisi_partikel,2); %Daya Terbangkit Setiap
Partikel

%---INISIASI KECEPATAN---
for i = 1 : jum_partikel
    for j = 1 : jum_pembangkit
        vmax(i,j) = 0.5*(data(j,5) - data(j,4));
        vpartikel(i,j) = ((vmax(i,j) - vmin(i,j))*rand + vmin(i,j));
    %Random Kecepatan Awal
    end
end

%---BIAYA AWAL---
```

```

for i = 1:jum_partikel
    for j = 1:jum_pembangkit
        biaya(i,j) = data(j,1) + posisi_partikel(i,j)*data(j,2) +
        (((posisi_partikel(i,j))^2)*data(j,3)); % Menghitung Biaya yang
        Diperlukan Untuk Membangkitkan Sejumlah Daya (Sebagaimana Posisi
        Partikelnya)
    end
end

%---MELISTING BIAYA PEMBANGKITAN SEMUA
PARTIKEL DAN MENENTUKAN YANG MURAH--
biaya_pembangkitan = sum(biaya,2); % Biaya Pembangkitan dari
Semua Partikel dalam Matriks [jum_partikel,1]
[hargaoptimum,line] = min(biaya_pembangkitan); % Menemukan
Nilai Paling Maksimal dari Matriks Biaya Pembangkitan [jum_partikel,1]
dan Dimana Nilai Posisi Barisnya
record_hargaoptimum(1,1) = hargaoptimum; % Record Harga
Optimum Pada Iterasi Pertama;
record_harga_paling_optimum(1,1) = hargaoptimum; % Record
Harga Paling Optimum Pada Iterasi Pertama;

%---MENENTUKAN [Pbest] DAN [Pgbest] ITERASI 1---
pbest = posisi_partikel; %Pbest Iterasi Pertama
pgbest = posisi_partikel(line,:);%Pgbest Iterasi Pertama

%---MASUK ITERASI KE-2 SAMPAI ITERASI MAKSIMUM---
for it = 2:maxiterasi %Looping sebanyak iterasi maksimum

    biaya_pembangkitan_lama = biaya_pembangkitan;

    %---UPDATE KECEPATAN---
    for i = 1 : jum_partikel
        for j = 1 : jum_pembangkit
            c1 = (c1_akhir - c1_awal)*(it/maxiterasi) + c1_awal;
            c2 = (c2_akhir - c2_awal)*(it/maxiterasi) + c2_awal;
            w = (wmax-wmin)*((maxiterasi-it)/maxiterasi) + wmin;

```

```

%           w = wmax -((wmax-wmin)/maxiterasi)*it ; %APSO
vpartikel(i,j) = w*vpartikel(i,j) + (c1*rand*(pbest(i,j) -
posisi_partikel(i,j))) + (c2*rand*(pgbest(1,j) - posisi_partikel(i,j)));
end
end

%---UPDATE POSISI PARTIKEL---
for i = 1 : jum_partikel
    for j = 1: jum_pembangkit
        posisi_partikel(i,j) = posisi_partikel(i,j) + vpartikel(i,j);

        %---BATASAN PERGERAKAN PARTIKEL---
        if posisi_partikel(i,j) < data(j,4)
            posisi_partikel(i,j) = data(j,4); %Batasan Bawah
        elseif posisi_partikel(i,j) > data(j,5)
            posisi_partikel(i,j) = data(j,4); %Batasan Atas
        end
    end
end
daya_terbangkit = sum(posisi_partikel,2); %Menjumlahkan
Nyamping<--[sum(...,2)], Matriks(jum_partikel,1)

%---TOTAL PEMBANGKITAN = LOAD---
for i = 1 : jum_partikel
    if daya_terbangkit(i,1) > beban2 %Jika Beban < Pembangkit
        daya_lebih = daya_terbangkit(i,1) - beban2;
        while (daya_lebih > 0)
            k = round(1 + (jum_pembangkit - 1)*rand); %Random
Pembangkit
            x = posisi_partikel(i,k);
            posisi_partikel(i,k) = posisi_partikel(i,k)- daya_lebih;
            if posisi_partikel(i,k) < data(k,4)
                posisi_partikel(i,k) = data(k,4); %Pembatas Posisi
Partikel
            daya_lebih = daya_lebih - (x - posisi_partikel(i,k));
        else
            daya_lebih = 0;
        end
    end
end
end

```

```

elseif daya_terbangkit(i,1) < beban2 %Jika Beban >
Pembangkit
    daya_kurang = beban2 - daya_terbangkit(i,1);
    while (daya_kurang > 0)
        k = round(1 + (jum_pembangkit - 1)*rand); %Random
Pembangkit
        x = posisi_partikel(i,k);
        posisi_partikel(i,k) = posisi_partikel(i,k) + daya_kurang;
        if posisi_partikel(i,k) > data(k,5)
            posisi_partikel(i,k) = data(k,5); %Pembatas Posisi
Partikel
        daya_kurang = daya_kurang - (posisi_partikel(i,k) - x);
        else
            daya_kurang = 0;
        end
    end
end
end

%---UPDATE BIAAYA---
for i = 1 : jum_partikel
    for j = 1 : jum_pembangkit
        biaya(i,j) = data(j,1) + posisi_partikel(i,j)*data(j,2) +
        (((posisi_partikel(i,j))^2)*data(j,3)); %Menghitung Biaya yang
        Diperlukan Untuk Membangkitkan Sejumlah Daya (Sebagaimana Posisi
        Partikelnya)
    end
end

%---MELISTING BIAAYA PEMBANGKITAN DALAM
Matriks Semua Partikel [jum_partikel,1]---
biaya_pembangkitan = sum(biaya,2); %Menjumlahkan Biaya
Setiap Partikel
[hargaoptimum,line] = min(biaya_pembangkitan); %Menemukan
Nilai Paling Optimum dari Matriks Biaya Pembangkitan [jum_partikel,1]
dan Dimana Nilai Posisi Barisnya
record_hargaoptimum(it,1) = hargaoptimum; %Record Harga
Optimum

```

```

%---UPDATE [Pbest] MASING-MASING PARTIKEL---
for i = 1 : jum_partikel
    if biaya_pembangkitan (i,1) < biaya_pembangkitan_lama(i,1)
%Jika Iterasi Paling Baru Menghasilkan Nilai yang Lebih Baik
        pbest(i,:) = posisi_partikel(i,:);
    else
        pbest(i,:) = pbest(i,:);
    end
end
%        pbest = posisi_partikel(line,:);
%        record_pbest(it,:) = pbest;

%---UPDATE [Pgbest]---
[fgbest,baris] = min(record_hargaoptimum(:,1)); %Mendapatkan
Nilai yang Paling Optimum dari Setiap Iterasi dan Membandingkannya
dengan Iterasi Sebelumnya
record_harga_paling_optimum(it,1) = fgbest; %Record Nilai
fbest Setiap Iterasi

    if record_hargaoptimum(it,1) < record_hargaoptimum(it-1,1)
%Jika Iterasi Paling Baru Menghasilkan Nilai yang Lebih Baik
        pgbest = posisi_partikel(line,:);
    else
        pgbest(1,:) = pgbest(1,:);
    end
    pgbest;
%        waitbar(it/maxiterasi,wait_bar,{'Proses Penghitungan'});
%Menampilkan Time Bar Proses Perhitungan
end
%---*SELESAI PERHITUNGAN ECONOMIC DISPATCH PSO*-
--

%---PENGUMPULAN DATA UNTUK OUTPUT---
record_harga_super_banget_optimum = min
(record_harga_paling_optimum); %Harga Paling Optimum
total_thermal = sum(pgbest(1,1:jum_pembangkit_thermal)); %Total
Pembangkitan Thermal
total_baterai = sum(pgbest(1,jum_pembangkit)); %Total
Pembangkitan Baterai

```



%%%TAMPILAN OUTPUT PROGRAM---

```
fprintf('=====')
    fprintf('\n')
    fprintf('ECONOMIC DISPATCH SISTEM KELISTRIKAN
MICROGRID')
    fprintf('\n')
    fprintf('NUGROHO WICAKSONO-TEKNIK ELEKTRO ITS')
    fprintf('\n')
    fprintf('\n')
    fprintf('Total Load          = %10.4f,beban)
    fprintf(' kW')
    fprintf('\n')

    fprintf('\n')
    fprintf('PhotoVoltaic Power   = %10.4f,Ppv)
    fprintf(' kW')

    fprintf('\n')
    fprintf('Wind Turbine Power    = %10.4f,Pwt)
    fprintf(' kW')
    fprintf('\n')
    fprintf('\n')

    for ii = 1:jum_pembangkit_thermal
        fprintf('Pembangkit Thermal Unit %1.0f,ii)
        fprintf(' = %10.4f,pgbest(1,ii))
        fprintf(' kW')
        fprintf('\n')
        fprintf('Biaya %1.0f)
        fprintf(' = %10.4f,(data(ii,1) + data(ii,2)*pgbest(1,ii) + data(ii,3)
* (pgbest(1,ii))^2))
        fprintf('(euro)')
        fprintf('\n')
    end

    fprintf('Baterai          = %10.4f,pgbest(1,jum_pembangkit))
    fprintf(' kW')
```

```

fprintf('\n')
fprintf('Biaya = %10.4f',(data(jum_pembangkit,1) +
data(jum_pembangkit,2)*pgbest(1,jum_pembangkit) +
data(jum_pembangkit,3)*(pgbest(1,jum_pembangkit))^2))
fprintf('(euro)')
fprintf('\n')

fprintf('\n')
fprintf('Total Renewable Power = %10.4f,TotR)
fprintf(' kW')

fprintf('\n')
fprintf('Total Thermal Power = %10.4f,total_thermal)
fprintf(' kW')

fprintf('\n')
fprintf('Total Baterai = %10.4f,total_baterai)
fprintf(' kW')
fprintf('\n')

fprintf('\n')
fprintf('Total Daya Terbangkitkan = %10.4f,TotR + total_thermal
+ total_baterai)
fprintf(' kW')

fprintf('\n')
fprintf('Total Biaya Pembangkitan %1.0f)
fprintf(' = %10.4f,record_harga_super_banget_optimum)
fprintf('(euro)\n')

%---PLOT GRAFIK---
figure,plot(record_harga_paling_optimum,'LineWidth',3)
title('Grafik Konvergensi Adaptive Particle Swarm Optimization',
'FontSize',28)
xlabel('Iterasi','FontSize',28)
ylabel('Biaya (euro/h)','FontSize',28),grid

fprintf('\n')
toc

```

```

fprintf('=====')
fprintf('\n')

%*****

elseif (beban > TotR + Pmaxt)

fprintf('=====')
fprintf('\n')
fprintf('ECONOMIC DISPATCH SISTEM KELISTRIKAN
MICROGRID')
fprintf('\n')
fprintf('NUGROHO WICAKSONO-TEKNIK ELEKTRO ITS')
fprintf('\n')
fprintf('\n')

%***CONNECTING TO GRID***
if islanded == 0

%---*MASUK KE DALAM PERHITUNGAN ECONOMIC
DISPATCH PSO*---
it = 1; %Masuk ke Iterasi Pertama
beban2 = beban - TotR; %Beban yang Masuk ke Perhitungan ED
data(jum_pembangkit_dan_pln,2) = biaya_beli;

%---INISIASI POSISI PARTIKEL AWAL---
for i = 1:jum_partikel
    for j = 1:jum_pembangkit_dan_pln
        posisi_partikel(i,j) = data(j,4) + (data(j,5) - data(j,4))*rand;
%Random Posisi Partikel
    end
    posisi_sementara_partikel = posisi_partikel; %Record Posisi
Partikel Awal
    daya_terbangkit = sum(posisi_sementara_partikel,2); %Posisi
Partikel = Daya yang Terbangkitkan
end

%---TOTAL PEMBANGKITAN = LOAD---
for i = 1:jum_partikel
    if daya_terbangkit(i,1) > beban2 %Jika Beban < Pembangkit

```

```

        daya_lebih = daya_terbangkit(i,1) - beban2;
        while (daya_lebih > 0)
            k = round(1 + (jum_pembangkit_dan_pln - 1)*rand);
%Random Pembangkit
            x = posisi_sementara_partikel(i,k);
            posisi_sementara_partikel(i,k) = posisi_sementara_partikel
(i,k) - daya_lebih;
            if posisi_sementara_partikel(i,k) < data(k,4)
                posisi_sementara_partikel(i,k) = data(k,4); %Pembatas
Posisi Partikel
            daya_lebih = daya_lebih - (x - posisi_sementara_partikel
(i,k));
            else
                daya_lebih = 0;
            end
        end
    elseif daya_terbangkit(i,1) < beban2 %Jika Beban > Pembangkit
        daya_kurang = beban2 - daya_terbangkit(i,1);
        while (daya_kurang > 0)
            k = round(1 + (jum_pembangkit_dan_pln - 1)*rand);
%Random Pembangkit
            x = posisi_sementara_partikel(i,k);
            posisi_sementara_partikel(i,k) = posisi_sementara_partikel
(i,k) + daya_kurang;
            if posisi_sementara_partikel(i,k) > data(k,5)
                posisi_sementara_partikel(i,k) = data(k,5); %Pembatas
Posisi Partikel
            daya_kurang = daya_kurang - (posisi_sementara_partikel
(i,k) - x);
            else
                daya_kurang = 0;
            end
        end
    end
    posisi_partikel (i,:) = posisi_sementara_partikel (i,:);
end
posisi_partikel = posisi_sementara_partikel; %Record Posisi
Partikel Setelah Dievaluasi

```

```

    daya_terbangkit = sum(posisi_partikel,2); %Daya Terbangkit Setiap
Partikel

```

```

%---INISIASI KECEPATAN---
for i = 1 : jum_partikel
    for j = 1 : jum_pembangkit_dan_pln
        vmax(i,j) = 0.5*(data(j,5) - data(j,4));
        vpartikel(i,j) = ((vmax(i,j) - vmin(i,j))*rand + vmin(i,j));
%Random Kecepatan Awal
    end
end

```

```

%---BIAYA AWAL---
for i = 1:jum_partikel
    for j = 1:jum_pembangkit_dan_pln
        biaya(i,j) = data(j,1) + posisi_partikel(i,j)*data(j,2) +
(((posisi_partikel(i,j))^2)*data(j,3)); %Menghitung Biaya yang
Diperlukan Untuk Membangkitkan Sejumlah Daya (Sebagaimana Posisi
Partikelnnya)
    end
end

```

```

%---MELISTING BIAYA PEMBANGKITAN SEMUA
PARTIKEL DAN MENENTUKAN YANG MURAH--

```

```

    biaya_pembangkitan = sum(biaya,2); %Biaya Pembangkitan dari
Semua Partikel dalam Matriks [jum_partikel,1]

```

```

    [hargaoptimum,line] = min(biaya_pembangkitan); %Menemukan
Nilai Paling Maksimal dari Matriks Biaya Pembangkitan [jum_partikel,1]
dan Dimana Nilai Posisi Barisnya

```

```

    record_hargaoptimum(1,1) = hargaoptimum; %Record Harga
Optimum Pada Iterasi Pertama;

```

```

    record_harga_paling_optimum(1,1) = hargaoptimum; %Record
Harga Paling Optimum Pada Iterasi Pertama;

```

```

%---MENENTUKAN [Pbest] DAN [Pgbest] ITERASI 1---

```

```

pbest = posisi_partikel; %Pbest Iterasi Pertama

```

```

pgbest = posisi_partikel(line,:); %Pgbest Iterasi Pertama

```

```

%---MASUK ITERASI KE-2 SAMPAI ITERASI MAKSIMUM---

```

```

for it = 2:maxiterasi %Looping sebanyak iterasi maksimum

    biaya_pembangkitan_lama = biaya_pembangkitan;

    %---UPDATE KECEPATAN---
    for i = 1 : jum_partikel
        for j = 1 : jum_pembangkit_dan_pln
            c1 = (c1_akhir - c1_awal)*(it/maxiterasi) + c1_awal;
%APSO
            c2 = (c2_akhir - c2_awal)*(it/maxiterasi) + c2_awal;
%APSO
            w = (wmax-wmin)*((maxiterasi-it)/maxiterasi) + wmin;
%APSO
            % w = wmax -((wmax-wmin)/maxiterasi)*it ; %APSO
            vpartikel(i,j) = w*vpartikel(i,j) + (c1*rand*(pbest(i,j) -
posisi_partikel(i,j))) + (c2*rand*(pgbest(1,j) - posisi_partikel(i,j)));
        end
    end

    %---UPDATE POSISI PARTIKEL---
    for i = 1 : jum_partikel
        for j = 1 : jum_pembangkit_dan_pln
            posisi_partikel(i,j) = posisi_partikel(i,j) + vpartikel(i,j);

            %---BATASAN PERGERAKAN PARTIKEL---
            if posisi_partikel(i,j) < data(j,4)
                posisi_partikel(i,j) = data(j,4); %Batasan Bawah
            elseif posisi_partikel(i,j) > data(j,5)
                posisi_partikel(i,j) = data(j,4); %Batasan Atas
            end
        end
    end

    daya_terbangkit = sum(posisi_partikel,2); %Menjumlahkan
Nyamping <--[sum(...,2)], Matriks(jum_partikel,1)

    %---TOTAL PEMBANGKITAN = LOAD---
    for i = 1 : jum_partikel
        if daya_terbangkit(i,1) > beban2 %Jika Beban < Pembangkit
            daya_lebih = daya_terbangkit(i,1) - beban2;
        end
    end

```

```

        while (daya_lebih > 0)
            k = round(1 + (jum_pembangkit_dan_pln - 1)*rand);
%Random Pembangkit
            x = posisi_partikel(i,k);
            posisi_partikel(i,k) = posisi_partikel(i,k)- daya_lebih;
            if posisi_partikel(i,k) < data(k,4)
                posisi_partikel(i,k) = data(k,4); %Pembatas Posisi
Partikel
                daya_lebih = daya_lebih - (x - posisi_partikel(i,k));
            else
                daya_lebih = 0;
            end
        end
    elseif daya_terbangkit(i,1) < beban2 %Jika Beban >
Pembangkit
        daya_kurang = beban2 - daya_terbangkit(i,1);
        while (daya_kurang > 0)
            k = round(1 + (jum_pembangkit_dan_pln - 1)*rand);
%Random Pembangkit
            x = posisi_partikel(i,k);
            posisi_partikel(i,k) = posisi_partikel(i,k) + daya_kurang;
            if posisi_partikel(i,k) > data(k,5)
                posisi_partikel(i,k) = data(k,5); %Pembatas Posisi
Partikel
                daya_kurang = daya_kurang - (posisi_partikel(i,k) - x);
            else
                daya_kurang = 0;
            end
        end
    end
end

%---UPDATE BIAYA---
for i = 1 : jum_partikel
    for j = 1 : jum_pembangkit_dan_pln
        biaya(i,j) = data(j,1) + posisi_partikel(i,j)*data(j,2) +
        (((posisi_partikel(i,j))^2)*data(j,3)); %Menghitung Biaya yang
        Diperlukan Untuk Membangkitkan Sejumlah Daya (Sebagaimana Posisi
        Partikelnya)
    end
end

```

```

        end
    end

    %---MELISTING BIAYA PEMBANGKITAN DALAM
    MATRIKS SEMUA PARTIKEL [jum_partikel,1]---
    biaya_pembangkitan = sum(biaya,2); %Menjumlahkan Biaya
    Setiap Partikel
    [hargaoptimum,line] = min(biaya_pembangkitan); %Menemukan
    Nilai Paling Optimum dari Matriks Biaya Pembangkitan [jum_partikel,1]
    dan Dimana Nilai Posisi Barisnya
    record_hargaoptimum(it,1) = hargaoptimum; %Record Harga
    Optimum

    %---UPDATE [Pbest] MASING-MASING PARTIKEL---
    for i = 1 : jum_partikel
        if biaya_pembangkitan (i,1) < biaya_pembangkitan_lama(i,1)
            %Jika Iterasi Paling Baru Menghasilkan Nilai yang Lebih Baik
            pbest(i,:) = posisi_partikel(i,:);
        else
            pbest(i,:) = pbest(i,:);
        end
    end
    %
    % pbest = posisi_partikel(line,:);
    % record_pbest(it,:) = pbest;

    %---UPDATE [Pgbest]---
    [fgbest,baris] = min(record_hargaoptimum(:,1)); %Mendapatkan
    Nilai yang Paling Optimum dari Setiap Iterasi dan Membandingkannya
    dengan Iterasi Sebelumnya
    record_harga_paling_optimum(it,1) = fgbest; %Record Nilai
    fbest Setiap Iterasi

    if record_hargaoptimum(it,1) < record_hargaoptimum(it-1,1)
        %Jika Iterasi Paling Baru Menghasilkan Nilai yang Lebih Baik
        pgbest = posisi_partikel(line,:);
    else
        pgbest(1,:) = pgbest(1,:);
    end
    pgbest;

```



```

%          waitbar(it/maxiterasi,wait_bar,{'Proses Penghitungan'});
%Menampilkan Time Bar Proses Perhitungan
end
%---*SELESAI PERHITUNGAN ECONOMIC DISPATCH PSO*-
--

%---PENGUMPULAN DATA UNTUK OUTPUT---
record_harga_super_banget_optimum =
min(record_harga_paling_optimum); %Harga Paling Optimum
total_thermal = sum(pgbest(1,1:jum_pembangkit_thermal)); %Total
Pembangkitan Thermal
total_baterai = sum(pgbest(1,jum_pembangkit)); %Total
Pembangkitan Baterai
total_pln = sum(pgbest(1,jum_pembangkit_dan_pln));

%---TAMPILAN OUTPUT PROGRAM---
fprintf('Total Load          = %10.4f,beban)
fprintf(' kW')
fprintf('\n')

fprintf('\n')
fprintf('PhotoVoltaic Power    = %10.4f,Ppv)
fprintf(' kW')

fprintf('\n')
fprintf('Wind Turbine Power      = %10.4f,Pwt)
fprintf(' kW')
fprintf('\n')
fprintf('\n')

for ii = 1:jum_pembangkit_thermal
    fprintf('Pembangkit Thermal Unit %1.0f,ii)
    fprintf(' = %10.4f,pgbest(1,ii)
    fprintf(' kW')
    fprintf('\n')
    fprintf('Biaya %1.0f)
    fprintf(' = %10.4f,(data(ii,1) + data(ii,2)*pgbest(1,ii) +
data(ii,3)*(pgbest(1,ii)^2))
    fprintf('(euro)')

```

```

    fprintf('\n')
end

fprintf('Baterai = %10.4f',pgbest(1,jum_pembangkit))
fprintf(' kW')
fprintf('\n')
fprintf('Biaya      =      %10.4f,      (data(jum_pembangkit,1)      +
data(jum_pembangkit,2)      *      pgbest(1,jum_pembangkit)      +
data(jum_pembangkit,3)*(pgbest(1,jum_pembangkit))^2))
fprintf('(euro)')
fprintf('\n')

fprintf('PLN = %10.4f',pgbest(1,jum_pembangkit_dan_pln))
fprintf(' kW')
fprintf('\n')
fprintf('Biaya      =      %10.4f,(data(jum_pembangkit_dan_pln,1)      +
data(jum_pembangkit_dan_pln,2) * pgbest(1,jum_pembangkit_dan_pln)
+      data(jum_pembangkit_dan_pln,3)      *
(pgbest(1,jum_pembangkit_dan_pln))^2))
fprintf('(euro)')
fprintf('\n')

fprintf('\n')
fprintf('Total Renewable Power      = %10.4f,TotR)
fprintf(' kW')

fprintf('\n')
fprintf('Total Thermal Power      = %10.4f,total_thermal)
fprintf(' kW')

fprintf('\n')
fprintf('Total Baterai      = %10.4f,total_baterai)
fprintf(' kW')
fprintf('\n')

fprintf('\n')
fprintf('Total Daya Terbangkitkan      = %10.4f,TotR + total_thermal
+ total_baterai)
fprintf(' kW')

```

```

fprintf('\n')
fprintf('Total Biaya Pembangkitan    %1.0f')
fprintf(' = %10.4f',record_harga_super_banget_optimum)
fprintf('(euro)\n')

%---PLOT GRAFIK---
figure,plot(record_harga_paling_optimum,'LineWidth',3)
title('Grafik Konvergensi Adaptive Particle Swarm Optimization',
'FontSize',28)
xlabel('Iterasi','FontSize',28)
ylabel('Biaya (euro/h)','FontSize',28),grid
end
%***

%ISLANDED
if islanted == 1
    fprintf('Total Load                = %10.4f', beban)
    fprintf(' kW')
    fprintf('\n')
    fprintf('Maksimum Daya Terbangkitkan = %10.4f', Pmaxt + TotR)
    fprintf(' kW')
    fprintf('\n')
    fprintf('\n')
    fprintf('YOUR SYSTEM IS UNDER GENERATION")
end
%***
fprintf('\n')
fprintf('\n')
toc
fprintf('=====')
fprintf('\n')
end

```

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil analisis penelitian dari aplikasi *economic dispatch* pada sistem kelistrikan *microgrid* dengan *energy storage* menggunakan *adaptive particle swarm optimization*, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Penerapan algoritma APSO pada kasus ED mampu menentukan berapa besarnya daya yang dibangkitkan oleh setiap pembangkit yang ada berdasarkan permintaan beban dalam sistem kelistrikan *microgrid*. Sehingga kebutuhan beban dalam sistem dapat terpenuhi dengan biaya yang paling minimum
2. Penggunaan *energy storage* dalam sistem kelistrikan *microgrid* memberikan pengaruh penghematan biaya operasi total jika dibandingkan dengan tanpa menggunakan *energy storage*, dimana untuk memenuhi kebutuhan beban sistem 125 kW dengan menggunakan *energy storage* dibutuhkan biaya operasi sebesar 1624.62 €/h dan jika tanpa menggunakan *energy storage* dibutuhkan biaya operasi sebesar 2882.78 €/h.
3. Algoritma APSO yang digunakan pada penelitian ini mampu mencapai nilai optimum pada nilai iterasi yang lebih singkat untuk mencapai nilai konvergensinya daripada algoritma PSO, dimana pada kasus beban sistem 125 kW metode APSO mampu mendapatkan nilai optimum yang konvergen mulai pada rata-rata iterasi ke 8 sedangkan dengan metode PSO nilai optimum yang konvergen didapatkan pada rata-rata iterasi ke 16.2.

#### **5.2 Saran**

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya pada bidang operasi sistem tenaga berdasarkan hasil simulasi dan analisis pada penelitian ini yaitu:

1. Pada penelitian selanjutnya perlu dikembangkan lagi aplikasi ED pada sistem kelistrikan *microgrid* dengan *energy storage* yang terhubung ke jala-jala.
2. Perhitungan dan penentuan biaya operasi tiap unit pembangkit dapat melibatkan *Optimal Power Flow* (OPF) sehingga dapat

diketahui aliran daya tiap saluran dan tegangan tiap *bus* dengan batasan tertentu.

3. Pertimbangan emisi dapat diterapkan pada penelitian selanjutnya sehingga metode yang digunakan menjadi menjadi *multiobjective* APSO.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pathom Attaviriyapap, Student Member, IEEE, Hiroyuki Kita, Eiichi Tanaka, and Jun Hagewa, Member, IEEE. "A Hybrid EP and SQP for Dynamic Economic Dispatch With Nonsmooth Fuel Cost Function", IEEE Trans. On Power Systems, Vol. 17, No. 2, May 2002.
- [2] Hatziargyriou, N. (2013). Microgrids: Architectures and Control, John Wiley & Sons.
- [3] de Souza Ribeiro, L., Saavedra, O., de Lima, S. and Gomes de Matos, J. (2011). Isolated microgrids with renewable hybrid generation: The case of Ilenois island, Sustainable Energy, IEEE Transactions on 2(1): 1–11.
- [4] D.W. Ross, S. Kim, "Dynamic Economic Dispatch of Generation", IEEE Trans. On Power Apparatus and Systems, vol. PAS-99, no. 6, pp. 2060-2068, Nov. 1980.
- [5] X. S. Han, H. B. Gooi, D. S. Kirschen, "Dynamic Economic Dispatch: Feasible and Optimal Solutions", IEEE Trans. On Power Systems, vol. 16, no.1, pp. 22-28, Feb.2001.
- [6] Mohammed Faisal A, Koivo Heikki., "System modelling and online optimal management of MicroGrid using Mesh Adaptive Direct Search", International Journal of Electrical Power & Energy Systems., Vol. 32, no 5. 2010, pp. 398-407.
- [7] Logenthiran, T. and Srinivasan, D. (2009). "Short term generation scheduling of a microgrid", TENCON 2009-2009 IEEE Region 10 Conference, IEEE, pp. 1–6.
- [8] Modiri-Delshad, M., Koohi-Kamali, S., Taslimi, E., Kaboli, A., Hr, S. and Rahim, N. (2013). "Economic dispatch in a microgrid through an iterated-based algorithm", Clean Energy and Technology (CEAT), 2013 IEEE Conference on, IEEE, pp. 82–87.
- [9] J. Kennedy and R. Eberhart, "Particle Swarm Optimization", In IEEE Int. Conf on Neural Networks, Perth, Australia, 1942-1948, 1995.
- [10] Y. Shi, R. Eberhart, "Empirical Study of particle swarm optimization", In Proceedings of the 1999 IEEE Congress on Evolutionary Computation, Piscataway, NJ, IEEE Press, pp 1945-1950, 1999.
- [11] K.T. Chaturvedi, M. Pandit, L. Srivastava, "Self-organizing hierarchical particle swarm optimization for nonconvex economic dispatch", IEEE Trans. Power Syst. 23 (3) (2008) 1079-1087.

- [12] Xiaoping Liu, Ming Ding, Jianghong Han, Pingping Han and Yali Peng, “Dynamic Economic Dispatch for Microgrids Including Battery Energy Storage”, 2nd IEEE International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems, 2010.
- [13] Deckmyn Christof, L. Vandoorn Tine, Moradzades Mohammad and Vandeveld Lieven, “Multi-objective optimization for environmental scheduling in microgrids”, 2014.
- [14] Amjady Nima, Reza Soleymanpour Hassan, “Daily Hydrothermal Generation Scheduling by a new Modified Adaptive Particle Swarm Optimization technique”, 2009.
- [15] ReDriven 20 kW, ReDriven Power Inc.



## RIWAYAT HIDUP



**Nugroho Wicaksono** dilahirkan di Jakarta 16 April 1994. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara dari pasangan Ir. J. Widiatmoko, MSTR dan Ir. Christin Sardjiati.

Setelah lulus dari SMA Kolese Kanisius Jakarta pada tahun 2012, penulis melanjutkan studi di Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya dan memilih program studi Teknik Sistem Tenaga. Pada tahun 2015 penulis menjadi asisten di Laboratorium Konversi

Energi Listrik ITS dengan bidang minat Mesin Listrik, Elektronika Daya dan *Renewable Energy*.

e-mail : [gm-nugrohowicaksono@gmail.com](mailto:gm-nugrohowicaksono@gmail.com)  
[nugroho12@mhs.ee.its.ac.id](mailto:nugroho12@mhs.ee.its.ac.id)